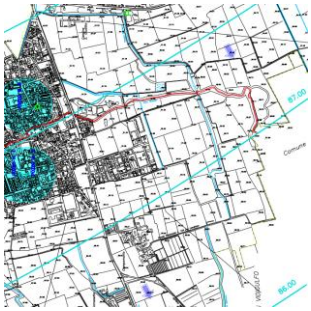
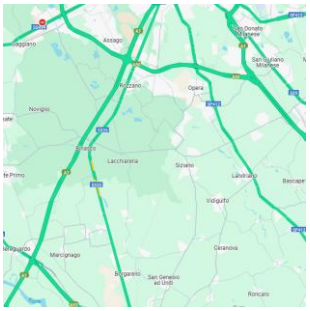
SIZIANO (PV)

RELAZIONE DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

D.M. 17.01.2018 (NTC 2018)

STACK MIL 07

VIA LOMBARDIA, SIZIANO (PV)

Committente:

L22

Simone Scarabelli
10.10.2025
16:32:03
GMT+02:00

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
SIMONE SCARABELLI
geologo specialista
Albo n. 1372 AP
Sezione A

Lombardini22 S.p.A.

Via Lombardini 22 20143 Milano, Italia

	Data *04/09/2025*				
	cod. *45/25*		*redatto*	*controllato*	*approvato*
Rev0	*Int1*		*M.Sala*	*S.Scarabelli*	*S.Scarabelli*
Rev1	*Int2*				
Rev2	*Int3*				
Rev3	*Int4*				

SOMMARIO

1 PREMESSA 4
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 6
3 BIBLIOGRAFIA 7
4 SOFTWARE 8
5 STATO DI FATTO E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO 9
6 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE 11
6.1 PROVA M.A.S.W. 12
6.2 PROVA H.V.S.R. 12
7 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO 14
8 SISMICITÀ 15
8.1 ZONA SISMICA 15
8.2 CPTI15-DBMI15 V 4.0 26
8.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA 31
8.4 FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO 33
8.5 ANALISI DI II LIVELLO 35
9 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 38
9.1 SISMOSTRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO 38
9.2 ACCELERAZIONE DI BASE a(g) 44
9.3 DATI DI DISAGGREGAZIONE 45
9.4 ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI DI INPUT 50
9.5 PROCEDURA DI CALCOLO 53
9.6 VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 59
9.7 RISULTATI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 61
9.7.1 Dati generali 61

9.7.2 Modello realizzato con gli accelerogrammi allo SLO 65

9.7.3 Modello realizzato con gli accelerogrammi allo SLD 80

9.7.4 Modello realizzato con gli accelerogrammi allo SLV 80

9.7.5 Modello realizzato con gli accelerogrammi allo SLC 95

9.8 Parametri sismici di riferimento 124

10 CONCLUSIONI 126

ALLEGATO 1 – DOCUMENTAZIONE PROVA MASW 127

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta per conto della società Lombardini 22 S.p.A., costituisce il supporto sismico preliminare alla progettazione dei lavori per la realizzazione di un nuovo Data Center su terreni siti in Comune di Siziano (PV), via Lombardia.

Figura 1: Ortofoto con ubicazione area in esame.

Tale relazione ottempera a quanto richiesto dal D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" ed è finalizzata in particolare alla caratterizzazione sismica di dettaglio del sito tramite apposita analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). Più nel dettaglio la Risposta Sismica Locale è la valutazione dell'azione sismica di progetto svolta in maniera rigorosa in accordo con quanto riportato dalle NTC2018 al cap.3.2.2, dove viene esplicitamente detto che: "*Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3…".*

In assenza di tali analisi, per determinati assetti sismostratigrafici, è possibile stimare l'azione sismica con l'approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Nel caso in esame si è proceduto ad effettuare delle specifiche analisi sismiche e alla valutazione della Risposta Sismica Locale.

L'esecuzione di una Risposta Sismica Locale consente di ottenere una valutazione dell'amplificazione locale più rigorosa dell'approccio semplificato.

I punti fondamentali nella stima dell'azione sismica, sulla base di specifiche analisi di RSL, possono essere così schematizzati:

- definizione dell'input sismico rappresentativo dell'azione sismica al tetto del bedrock sismico, da dove si presume che inizi l'amplificazione locale;
- determinazione di un adeguato modello geologico e parametrizzazione degli strati individuati;
- determinazioni analitiche;
- scelta e rappresentazione dei parametri di output.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente elaborato è stato redatto in accordo con le normative di seguito elencate:

- D.M. LL.PP. 17.01.18 *"Norme tecniche per le costruzioni – Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n.1086, alla legge 2 febbraio 1974, n.64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n.380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n.136, convertito con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n.186"*;
- Circolare n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.19 *"Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018"*;
- O.P.C.M. n.3519 28.04.06 *"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"*;
- Allegato al voto n.36 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici 27.07.07 *"Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale"*;
- D.d.u.o. n. 19940 del 21 novembre 2003 "*Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n. 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003*";
- D.G.R. 28.05.2008 n. 8/7374 – Aggiornamento dei "*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11.03.2005 n. 12*".

3 BIBLIOGRAFIA

- Idriss I.M. and Sun J.I., 1992. SHAKE91 – a computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soils deposits. University of California, Davis;
- Sabetta F. and Pugliese A, 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 337-352.

4 SOFTWARE

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è stata svolta la valutazione della Risposta Sismica Locale riferita al terreno di fondazione delle opere della nuova realizzazione.

I software usati sono:

- Rexel V.3.5 – REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis - Iunio Iervolino · Carmine Galasso · Edoardo Cosenza;
- RSL III – Geostru.

5 STATO DI FATTO E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area interessata dall'intervento edificatorio si trova in corrispondenza della porzione periferica esterna verso Nord-Est rispetto all'abitato di Siziano (PV), più precisamente in fregio lato Nord alla Strada Provinciale n.40 Melegnano-Binasco, in una zona caratterizzata da insediamenti di carattere prevalentemente artigianale-industriale.

Nella figura seguente è rappresentato l'inquadramento geografico di riferimento, con indicazione dell'area oggetto di intervento.

Figura 1: Inquadramento geografico di riferimento.

L'area in esame, attualmente occupata da due esistenti capannoni che verranno completamente demoliti, è catastalmente identificata dal Foglio n.3, Mappali n.8,.104, 105, 106 e 138.

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo capannone da adibire a Data Center che presenterà pianta circa rettangolare con dimensioni planimetriche massime di mq 210 x 30 ed elevazione massima di circa 12 metri.

Figura 2: Masterplan intervento in progetto.

6 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche realizzate nel sedime di intervento sono le seguenti:

- n.1 stendimento sismico M.A.S.W. della lunghezza di complessiva di 60m;
- n.1 rilevazione puntuale del microtremore sismico ambientale della durata di 20 minuti.

Figura 3: Ortofoto con ubicazione indagini geofisiche.

Di seguito si illustrano i dettagli e le modalità esecutive delle indagini; in allegato sono riportate le risultanze della prova MASW e HVSR.

6.1 PROVA M.A.S.W.

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza).
Sono stati utilizzati n.12 geofoni verticali da 4.5 Hz spaziati di 5m con offset a 5m di distanza dal primo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.
Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (M.A.S.W.), il dataset è stato ottenuto mediante le seguenti modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

  - n.12 geofoni verticali da 4.5 Hz

  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in lega di alluminio

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF). Una volta individuato il dataset da utilizzare è stato determinato lo spettro di velocità e successivamente è stata effettuata la modellazione.

È necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. Si rammenta infine come, in ogni caso, la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%.

6.2 PROVA H.V.S.R.

Si tratta di una metodologia sismica passiva, finalizzata alla determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo al fine di verificare che non vi siano eventuali effetti di doppia risonanza, che potrebbero inficiare sulla stabilità delle strutture.

Nel contempo la misurazione effettuata sul terreno ha permesso di verificare la presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva.

La misurazione è stata eseguita mediante l'utilizzo di un geofono triassiale digitale 3D PASI, modello Gemini ed i dati sono stati rielaborati tramite software WinMASW 3C 7.2 beta.

Tale indagine geofisica si avvale della tecnica di Nakamura (1989) e sui rapporti spettrali H.V.S.R. (Horizzontal to Vertical Spectral Ratio); viene misurato il microtremore sismico ambientale (rumore sismico) presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Per poter effettuare tale misurazione lo strumento racchiude tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con frequenza naturale di risonanza 2.0 Hz.

I dati vengono registrati su pc collegato alla strumentazione. Durante la misura si è orientata una delle componenti orizzontali parallelamente alla direzione dello stendimento sismico, per consentire una eventuale ripetizione e sovrapposizione delle registrazioni in tempi successivi.

Operativamente si è proceduto alla registrazione del rumore sismico sulle tre componenti per un intervallo di tempo di 20 minuti.

7 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

L'esame dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo e dei diagrammi di resistenza penetrometrica relativi alle prove penetrometriche eseguite in sito ha consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi caratteristiche di resistenza alla penetrazione statica e parametri litologici e geomeccanici specifici.

Tali risultanze evidenziano una situazione litostratigrafica discretamente omogenea nelle verticali di indagine, in particolare i terreni indagati risultano sostanzialmente costituiti da alternanze di livelli più o meno sabbiosi alternati a limi.

Il modello litostratigrafico locale può essere così proposto:

Strato	Profondità [m]	Litologia
R	da 0.0 a 1,50-2,0	Materiali eterogenei di riporto
1	da 1,50-2,0 a 2,50-6,0	Limi sabbiosi
2	da 2,50-6,0 a 4,0-7,0	Sabbie limose
3	da 4,0-7,0 a 7,0-11,5	Argille limose/limi argillosi
4	da 7,0-11,5 a 25,0-29,0	Alternanze di sabbie con ciottoli e sabbie limose
5	> 25,0-29,0	Sabbie limose

La falda è stata riscontrata a profondità di circa -2.30 metri dall'attuale piano campagna.

8 SISMICITÀ

8.1 ZONA SISMICA

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.2129 entrata in vigore il 10 aprile 2016, il territorio di Siziano è classificato in zona sismica 3.

Zona sismica 3	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.
AgMax 0,057162	Accelerazione massima presente all'interno del territorio comunale.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	*Descrizione*	*accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni* [a_g]	*accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche)* [a_g]	*numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)*
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25$ g	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g	3.002
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g	1.982

Figura 4: Zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006.

La figura seguente mostra la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, successivamente è riportata l'immagine dell'area di interesse e l'accelerazione al suolo con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni del comune di **Siziano** pari a **PGA = 0.05g – 0,15g**, valore caratteristico della **zona sismica di tipo 3**.

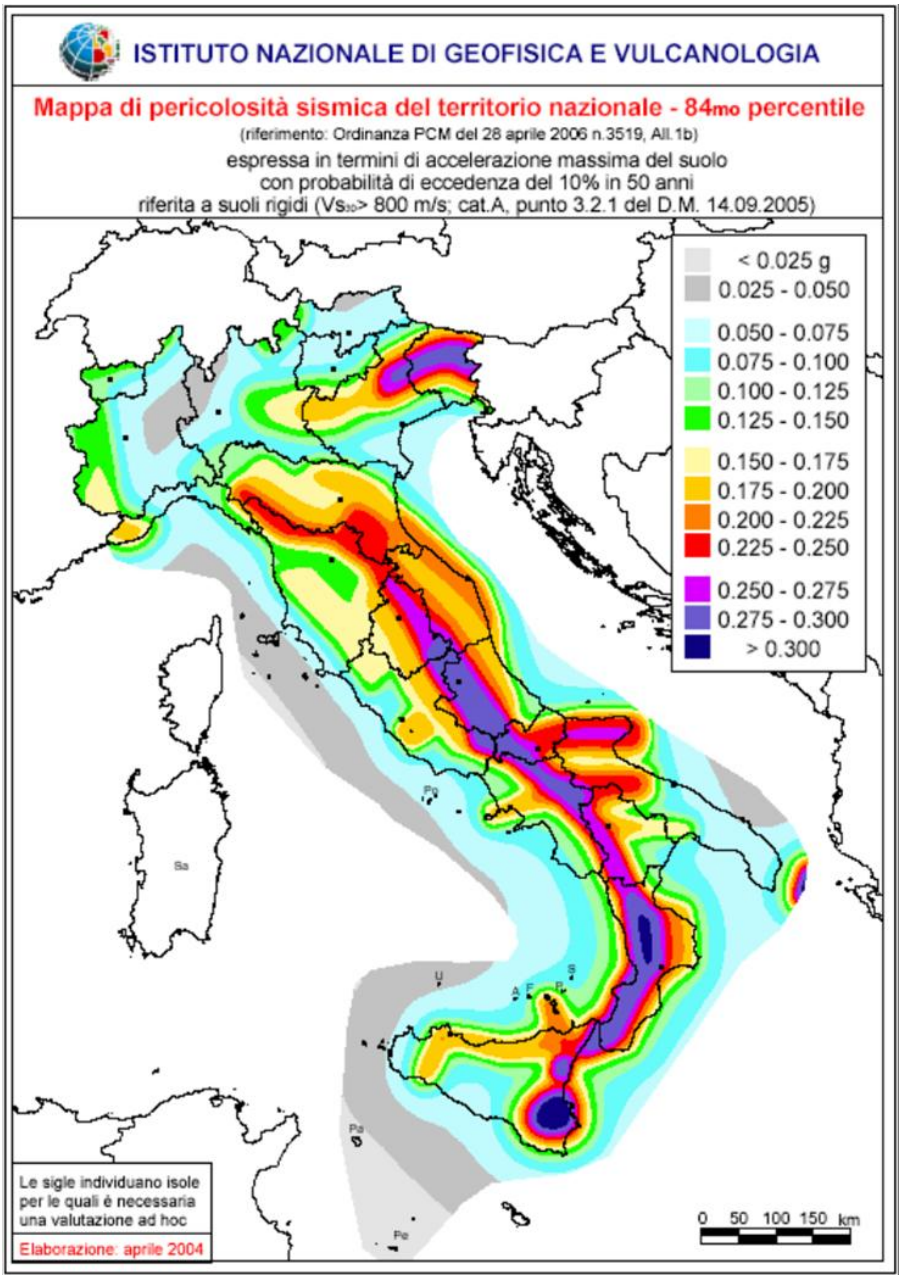


Figura 5: All.1b dell'Ordinanza PCM 3598 del 28/04/2006 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui l'accelerazione massima del suolo viene espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

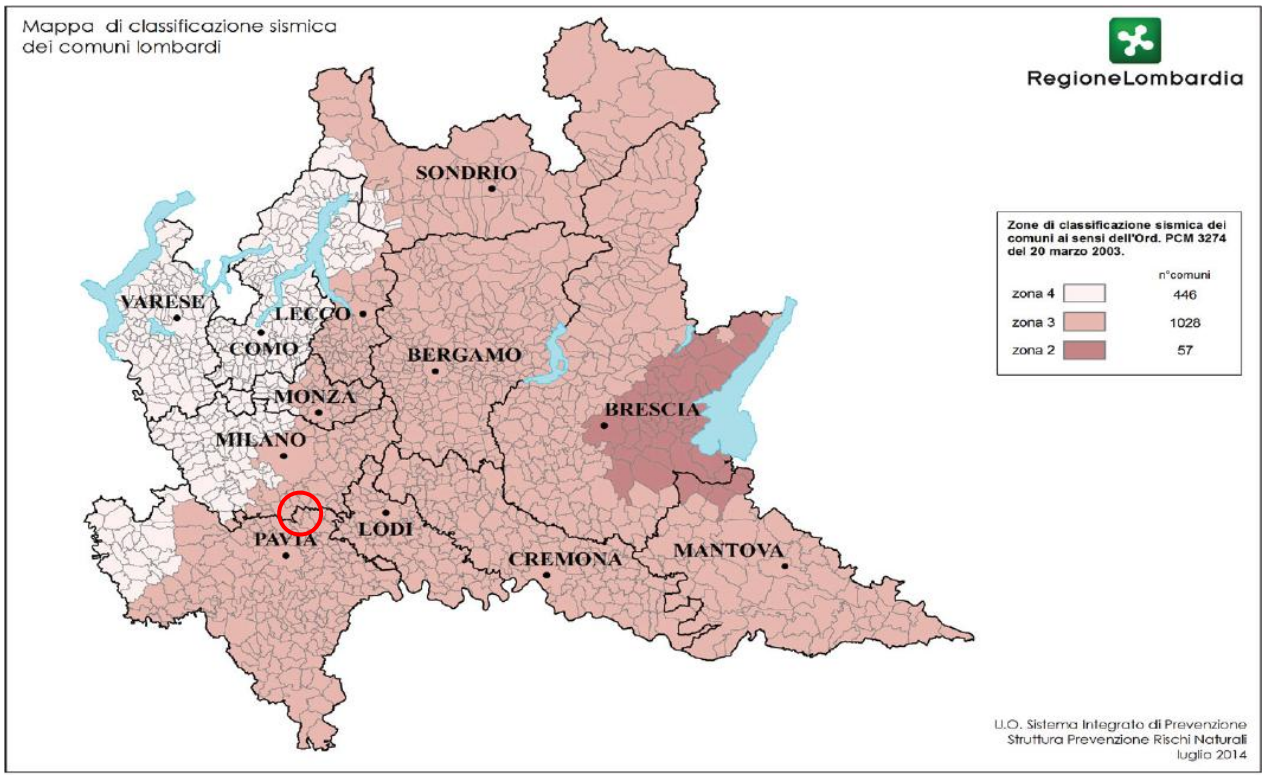
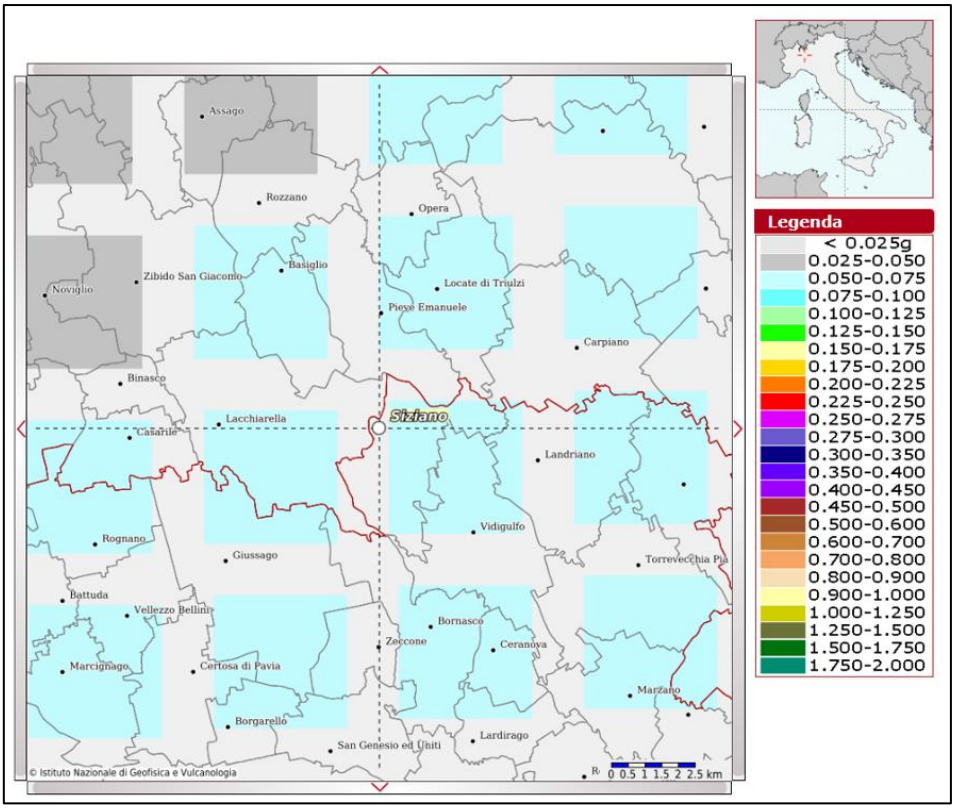


Figura 6: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito della D.G.R. n. X/2129.

In base all'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, sono state definite sulla base di più approfonditi studi, le zone di pericolosità sismica per il territorio nazionale ed è stata definita la mappa di pericolosità sismica MPSO4, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s e TR= 475anni).

Le figure seguenti mostrano la disaggregazione per l'area oggetto di studio della stima di PGA (Peak Ground Acceleration) con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Il grafico è una elaborazione che mostra il contributo delle sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica di un certo sito: le sorgenti vengono discretizzate per intervalli di spazio e magnitudo.



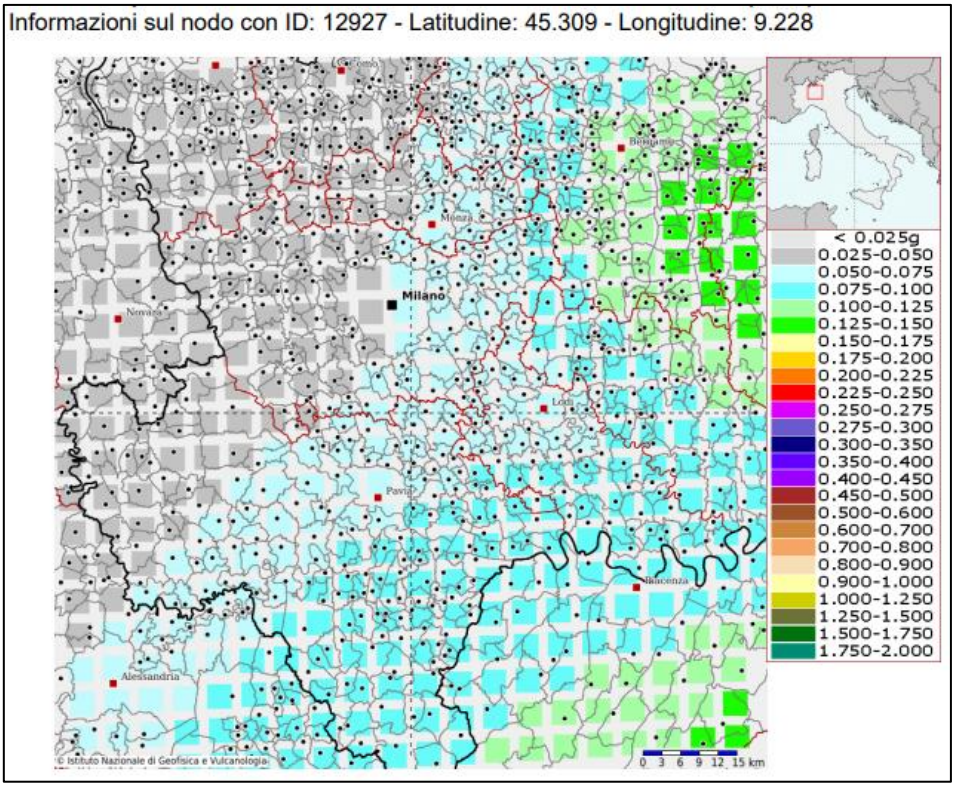


Figura 7: INGV - Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale – Comune di Siziano (PV).

La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, Vs30 > 800 m/s) e pianeggiante.

Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID **12927** (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.

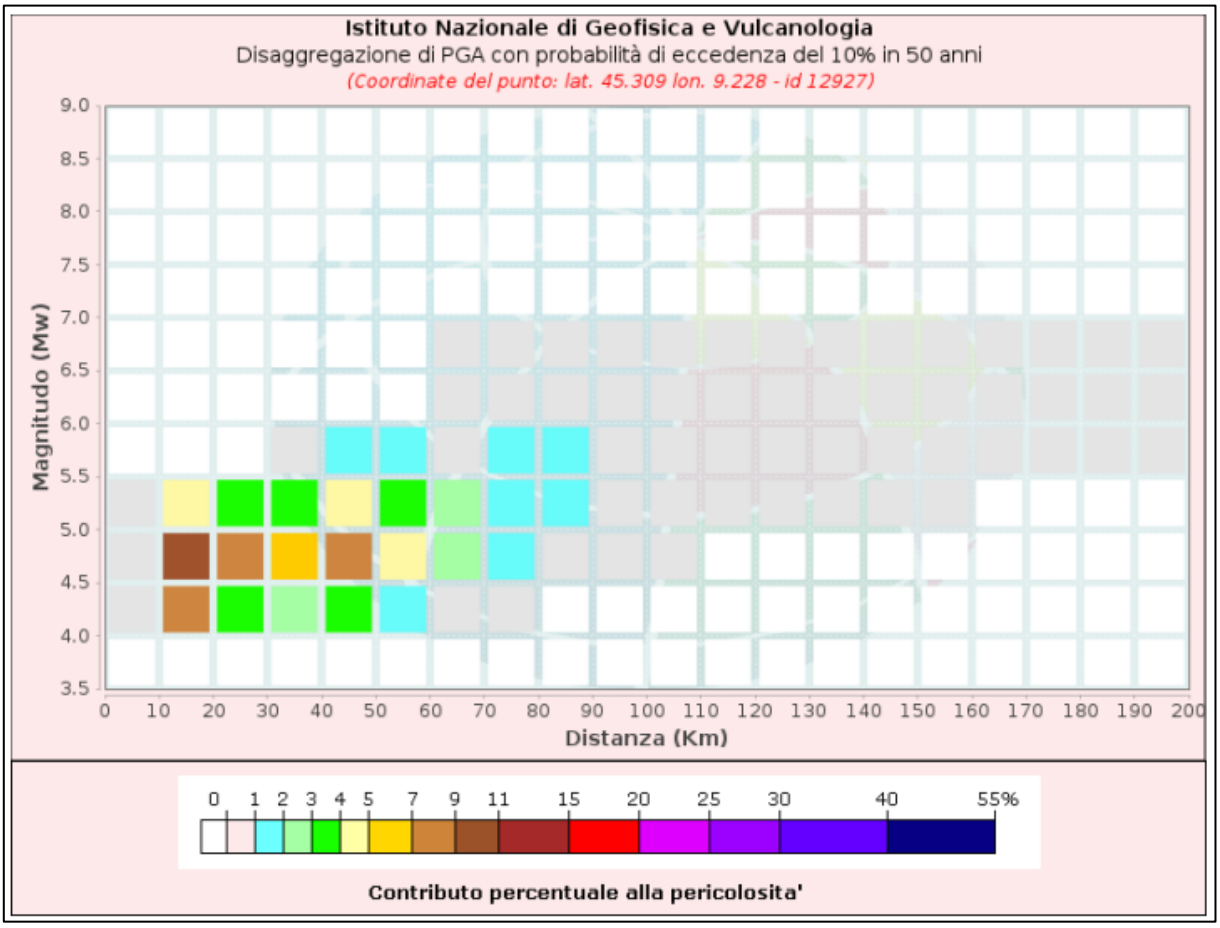


Figura 8: Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

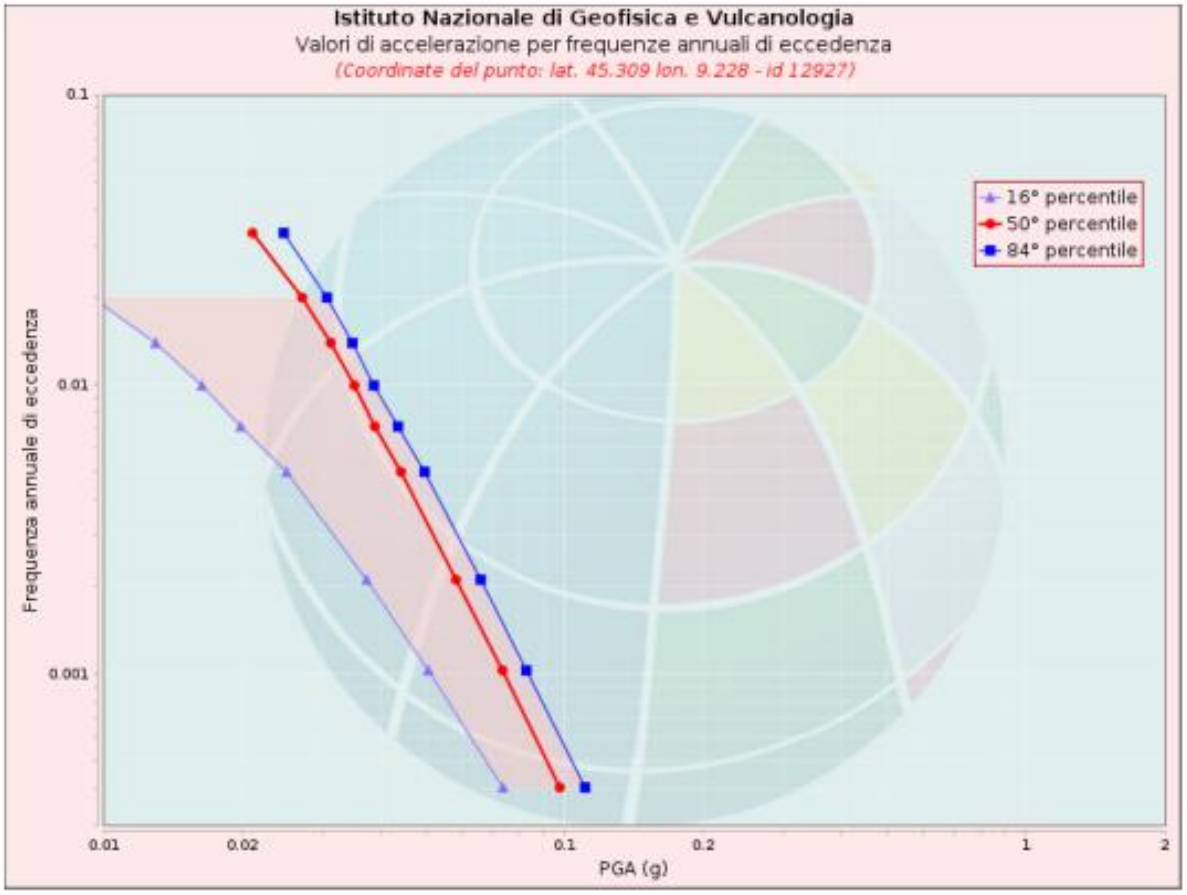
Distanza in Km	Magnitudo 3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	0.7880	0.9880	0.3110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	7.1500	10.5000	4.1700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	3.8800	7.1600	3.8200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	2.9200	6.0700	3.7800	0.3920	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	3.1600	7.1000	4.7400	1.1500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	1.6000	4.5100	3.5800	1.0900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.5270	2.3200	2.3400	0.8420	0.0019	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0510	1.0900	1.8500	1.0700	0.1440	0.0217	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.3270	1.1800	1.0300	0.4420	0.0743	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0714	0.6350	0.8600	0.5820	0.1040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0087	0.3050	0.6000	0.4930	0.0919	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.1410	0.4360	0.3970	0.0771	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0648	0.3440	0.3250	0.0636	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0234	0.3070	0.2690	0.0484	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0050	0.2060	0.2120	0.0368	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.1240	0.1890	0.0277	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0731	0.1640	0.0198	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0406	0.1370	0.0131	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0236	0.1280	0.0091	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0108	0.1080	0.0065	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.95 ; distanza = 43.8 ; epsilon = 1.43

Figura 9: Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Curve di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

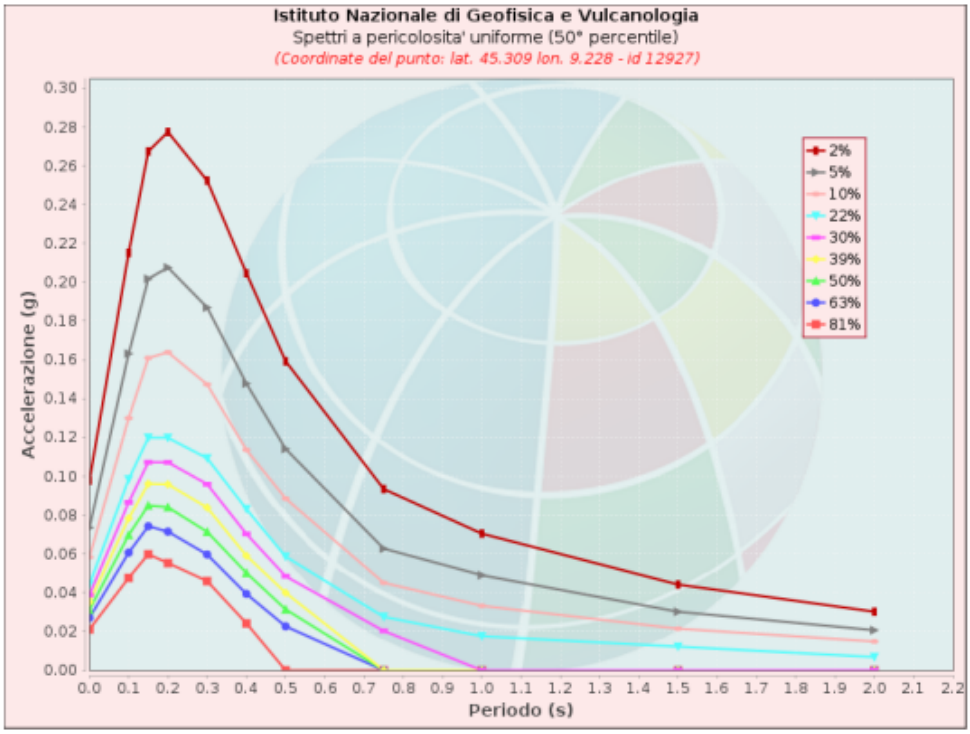


Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.074	0.098	0.111
0.0010	0.051	0.073	0.083
0.0021	0.037	0.058	0.066
0.0050	0.025	0.044	0.050
0.0071	0.020	0.039	0.044
0.0099	0.016	0.035	0.039
0.0139	0.013	0.031	0.035
0.0199	0.009	0.027	0.031
0.0332	0.000	0.021	0.025

Figura 10: Curve di pericolosità.

Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità. I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



PoE in 50 anni	Accelerazione (g) – Periodo (s) 0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.098	0.215	0.267	0.277	0.252	0.205	0.159	0.093	0.070	0.044	0.030
5%	0.073	0.163	0.202	0.208	0.187	0.148	0.114	0.063	0.049	0.030	0.021
10%	0.058	0.130	0.161	0.164	0.147	0.114	0.089	0.045	0.033	0.021	0.015
22%	0.044	0.098	0.120	0.120	0.109	0.083	0.059	0.028	0.018	0.012	0.007
30%	0.039	0.087	0.107	0.107	0.096	0.070	0.048	0.020	0.000	0.000	0.000
39%	0.035	0.078	0.096	0.096	0.084	0.059	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
50%	0.031	0.070	0.085	0.084	0.071	0.050	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000
63%	0.027	0.061	0.074	0.071	0.060	0.039	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
81%	0.021	0.048	0.060	0.055	0.046	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 11: Spettri a pericolosità uniforme.

Si riporta di seguito la carta delle zone sismogenetiche ZS9 dell'Italia.

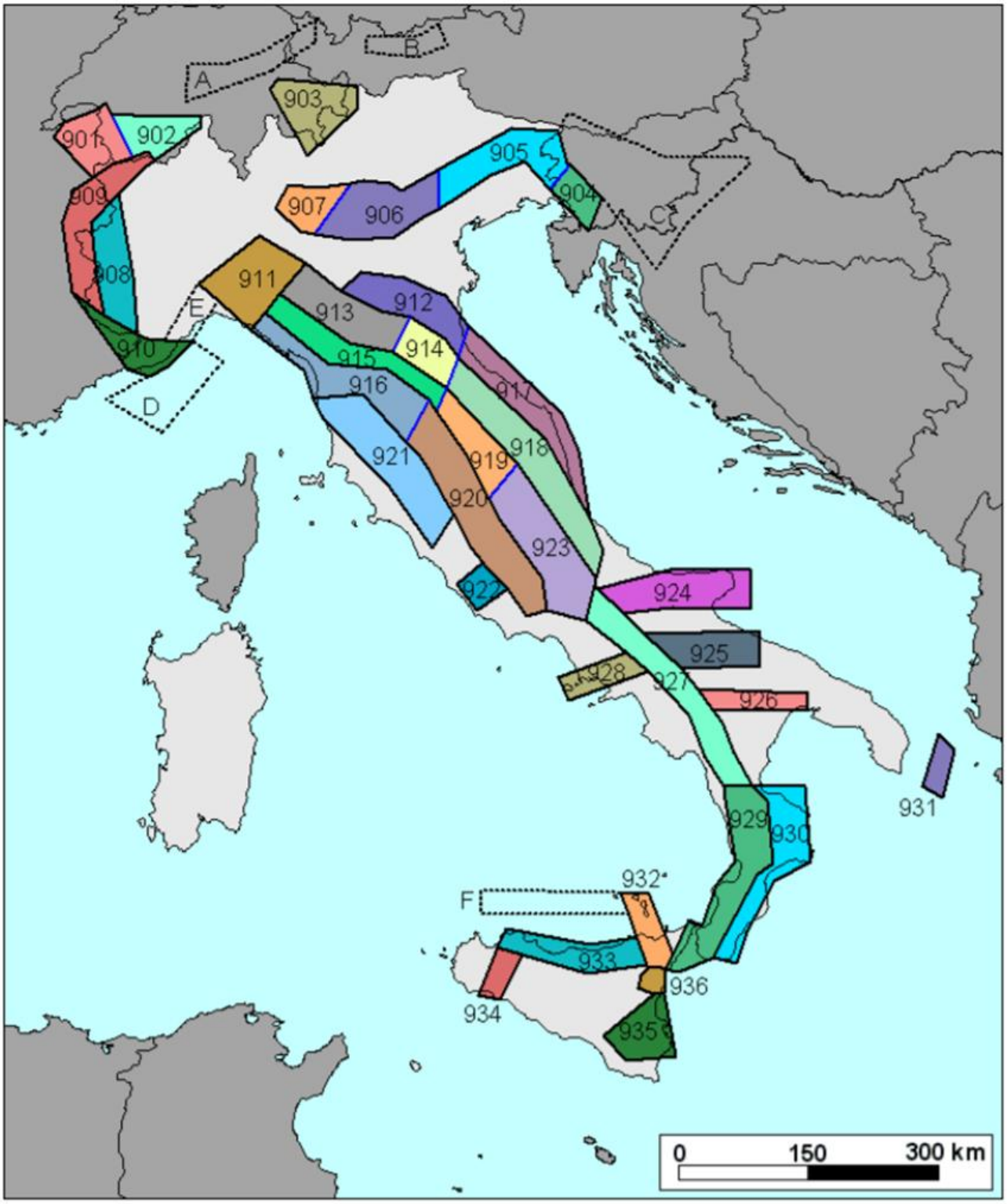


Figura 12: Sismogenetica ZS9.

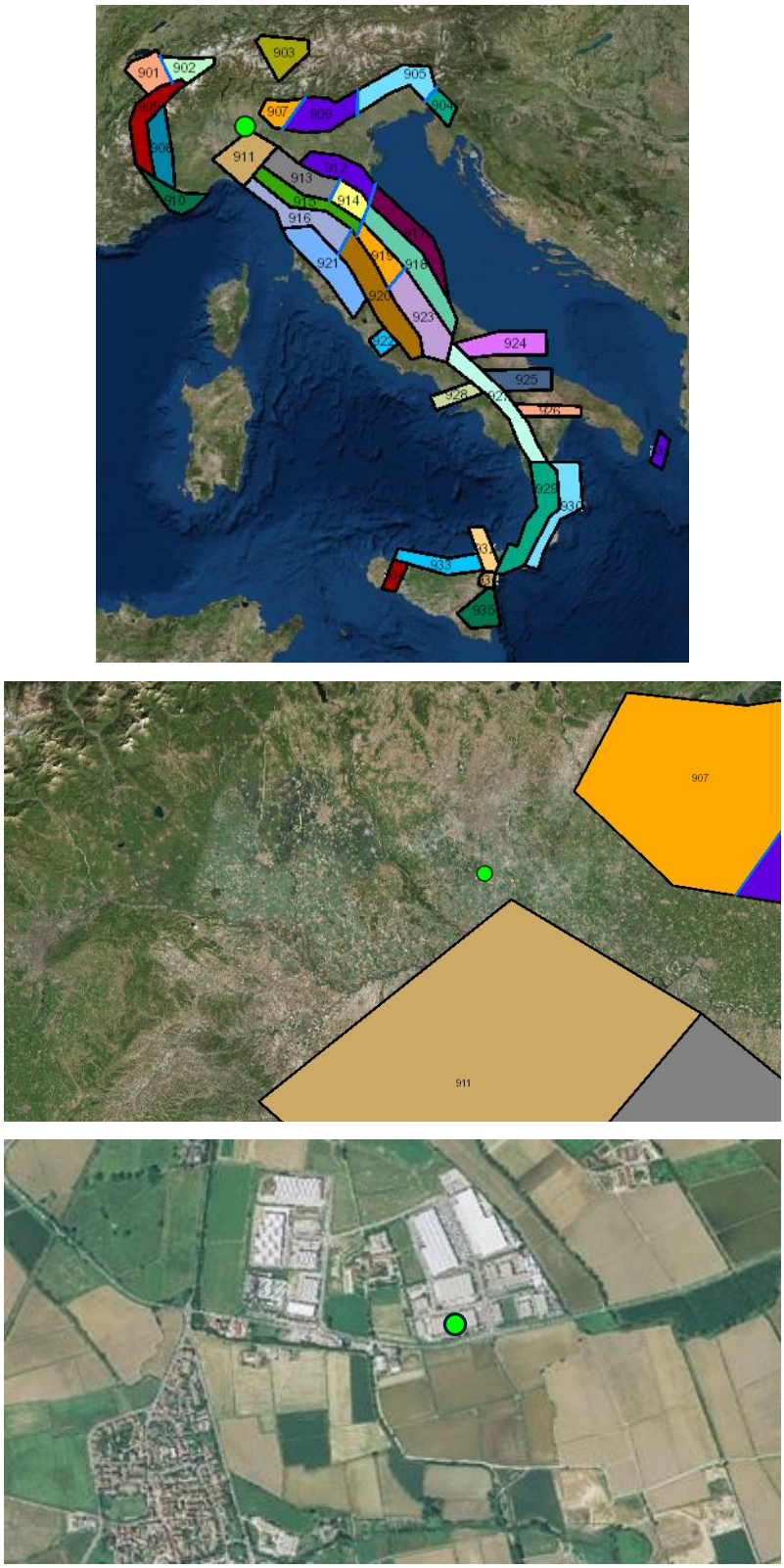


Figura 13: zonazione sismogenetica ZS9, con ubicazione area in esame.

Come è possibile vedere alla figura precedente, l'area oggetto d'interesse non ricade all'interno di nessuna delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al. 2008), utilizzata per la compilazione della mappa di pericolosità sismica MPS04.

Per il calcolo sismico si può prendere in considerazione la magnitudo calcolata dalla disaggregazione e quindi pari a 4.95. Realizzato da un gruppo di ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), la nuova versione 3.3.0 di DISS è un archivio georeferenziato di faglie sismogenetiche ovvero potenzialmente capaci di generare terremoti, identificate negli anni attraverso dati e studi geologici, geofisici e storici. È espressamente dedicato ad applicazioni nella valutazione della pericolosità sismica a scala regionale e nazionale, oltre che allo sviluppo di modelli geodinamici.

Dal DISS versione 3.3.0 si nota che l'area di studio non ricade nelle vicinanze di nessuna zona tettonica o di faglie attive come illustrata dalla figura seguente.

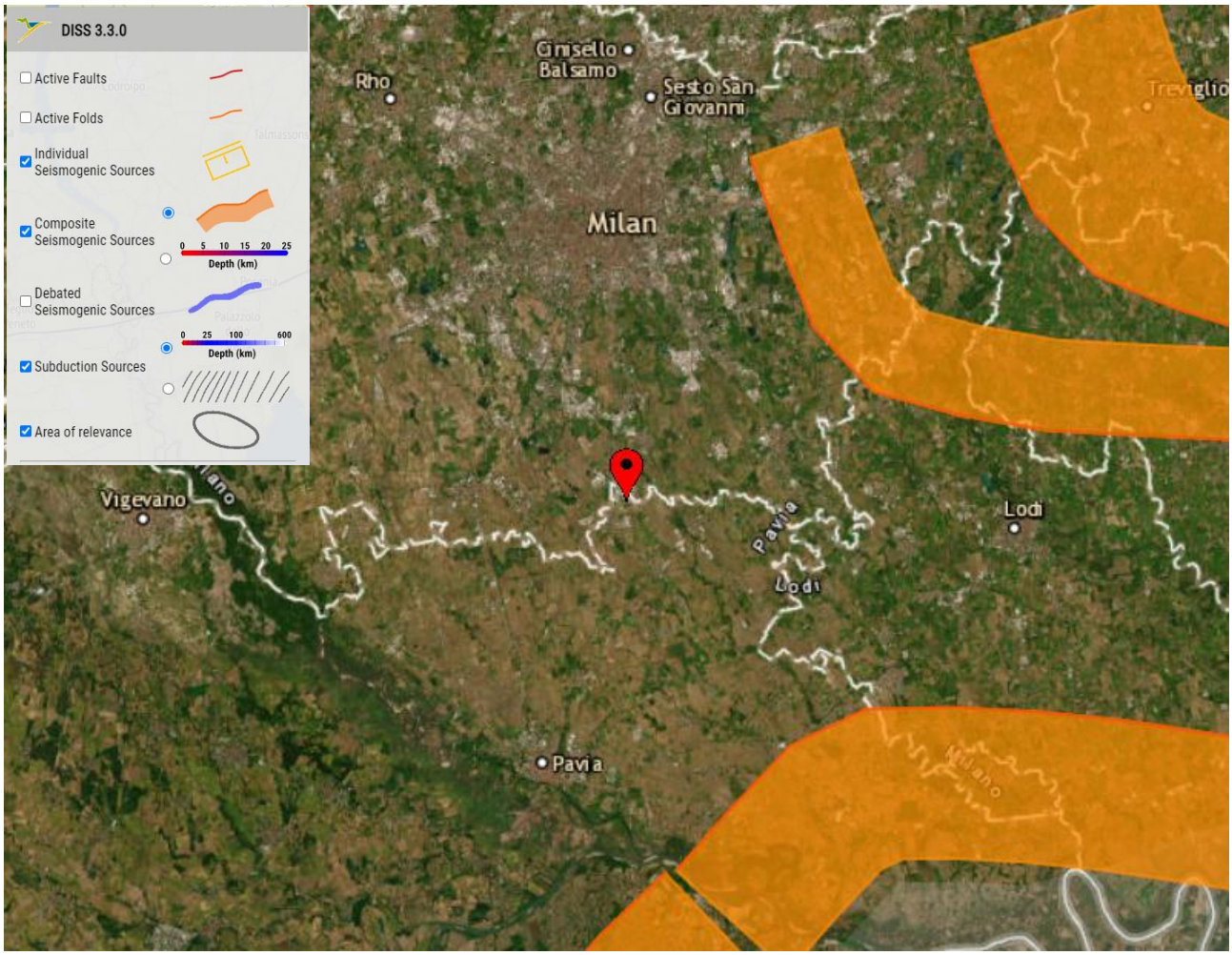


Figura 14: DISS versione 3.3.0 Database of Individual Seismic Sources-ITCS100.

8.2 CPTI15-DBMI15 V 4.0

CPTI15 V4.0

La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. Anche se i criteri generali di compilazione e la struttura sono gli stessi della precedente versione CPTI11 (Rovida et al., 2011), il contenuto del catalogo è stato ampiamente rivisto per quanto concerne:

- la copertura temporale, estesa a tutto il 2020;
- il database macrosismico di riferimento (DBMI15 versione 4.0; Locati et al., 2022), significativamente aggiornato;
- i dati strumentali considerati, nuovi e/o aggiornati;
- le soglie di ingresso dei terremoti, abbassate a intensità massima 5 o magnitudo 4.0 (invece di 5-6 e 4.5 rispettivamente);
- la determinazione dei parametri macrosismici, basata su una nuova calibrazione dell'algoritmo Boxer;
- le magnitudo strumentali, che comprendono un nuovo set di dati e nuove relazioni di conversione.

Il catalogo copre l'intero territorio italiano con porzioni delle aree e dei mari confinanti (Figura 1), e contiene 4894 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. Il catalogo, quindi, considera e armonizza il più possibile dati di base di diverso tipo e provenienza.

La magnitudo utilizzata è la magnitudo momento (Mw) e in tutti i casi è riportata la relativa incertezza. Tutti i dati e i metodi utilizzati sono accuratamente esplicitati nel catalogo per garantire la massima trasparenza possibile nelle procedure di compilazione. Al pari di CPTI11, il catalogo non è stato declusterato e contiene quindi tutti i foreshocks e le repliche disponibili e conosciuti all'interno delle soglie di magnitudo e intensità considerate.

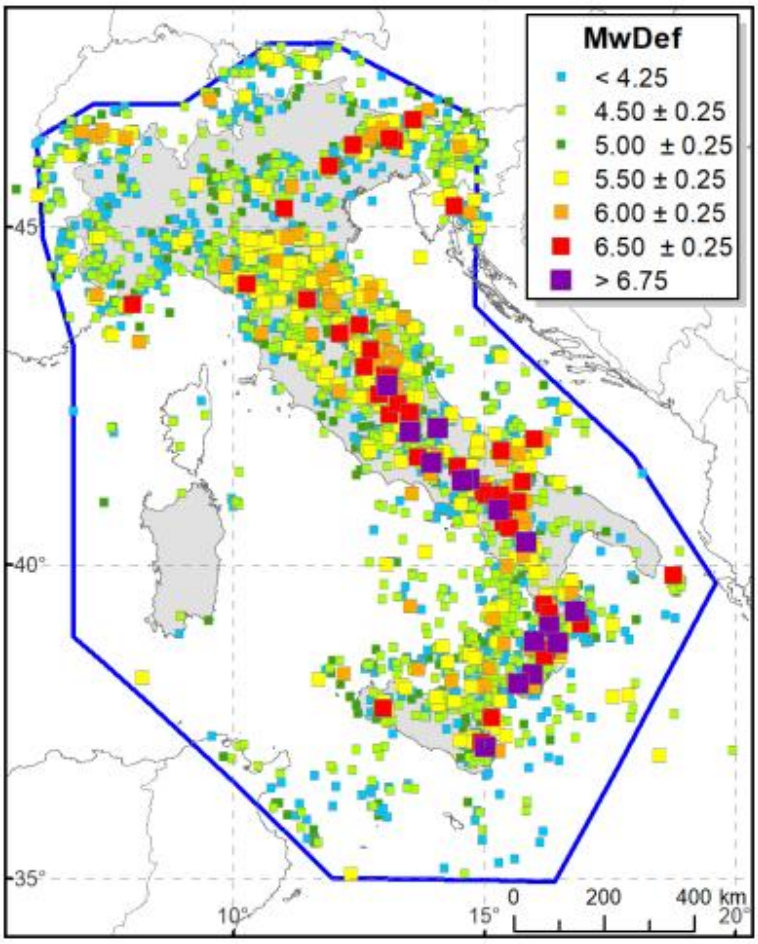


Figura 15: Distribuzione geografica degli epicentri dei terremoti contenuti in CPTI15 per classi di Mw e limite della copertura spaziale (poligono blu).

Il catalogo include i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente (secondo i metodi e le conversioni descritte nel seguito) a Mw 4.0 o superiore. Alcuni terremoti con Mw < 4.0 sono inclusi nel catalogo per le seguenti ragioni:

- per i terremoti dell'area vulcanica dell'Etna, la soglia di magnitudo è Mw 3.0 ma restano inclusi tutti i terremoti con intensità massima e/o epicentrale 5;
- per i terremoti nell'area vulcanica dei Campi Flegrei la soglia di magnitudo è Mw 3.1, corrispondente a intensità epicentrale 5 secondo le conversioni utilizzate;
- i terremoti contenuti in CPTI11 sono stati tutti, tranne alcuni dell'area etnea e gli eventi dimostrati falsi, mantenuti nella nuova versione del catalogo, anche se i nuovi dati o le nuove calibrazioni (o entrambi) hanno portato a stime di Mw < 4.0.

L'attuale versione del catalogo CPTI15 v4.0 consiste i) nell'estensione della copertura temporale della precedente versione 3.0 dalla fine 2019 al 31 dicembre 2020 e ii) nell'aggiornamento dei parametri di alcuni terremoti nel periodo settembre 2018 – dicembre 2019 conseguente alla pubblicazione e inserimento del Bollettino Rivisto dell'ISC (International Seismological Centre) per quel periodo.

Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI sono stati pubblicati insieme e usano una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web. CPTI15 è consultabile liberamente all'indirizzo http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15 e attraverso il "web service" dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/.

CPTI15 è un prodotto scientifico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) la cui realizzazione ha richiesto anni di lavoro e raccoglie il frutto della ricerca di diversi autori di diversi enti. CPTI15 può essere utilizzato per scopi scientifici, a condizione che la fonte sia sempre citata.

DBMI15 V. 4.0

La versione 4.0 del Database Macrosismico Italiano DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 e aggiorna e sostituisce la precedente versione 3.0 (Locati et al., 2021) che venne pubblicata a gennaio 2021. Le variazioni tra la versione 3.0 e la 4.0 sono dettagliate al paragrafo 5 e consistono nell'allungamento della copertura temporale dalla fine del 2019 alla fine del 2020.

DBMI v4.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2020. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima della magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane (15343 in DBMI15 v4.0), vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità macrosismica, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI sono stati pubblicati insieme e usano una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web. A partire da DBMI15 e CPTI15 (Rovida et al. 2016) si è deciso di rendere disponibile le due banche dati da un unico sito web generato con una versione aggiornata del software MIDOP (Locati e Cassera 2010) al fine di rendere più semplice e funzionale la consultazione.

DBMI15 contiene 123981 dati di intensità relativi a 3229 terremoti. Come si può vedere dalle figure seguenti, l'incremento numerico dei terremoti con dati di intensità e di osservazioni macrosismiche rispetto alle due precedenti versioni DBMI04 (Stucchi et al. 2007) e DBMI11 (Locati et al., 2011) è elevato.

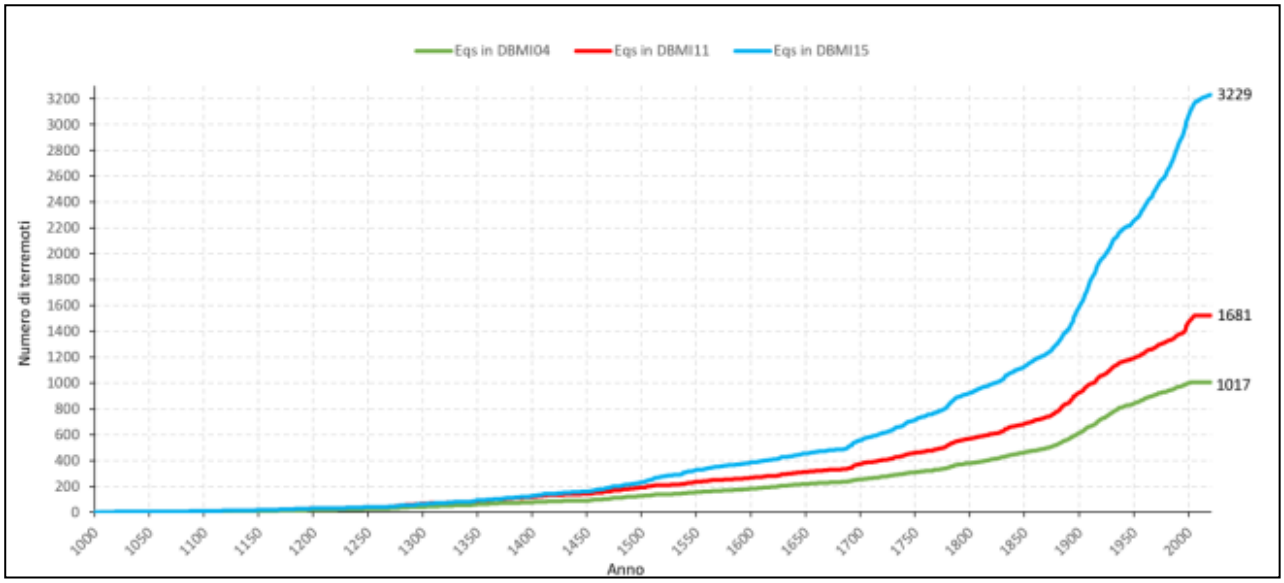


Figura 16: Confronto dell'andamento nel tempo del numero di terremoti: in verde DBMI04, in rosso DBMI11, e in azzurro DBMI15.

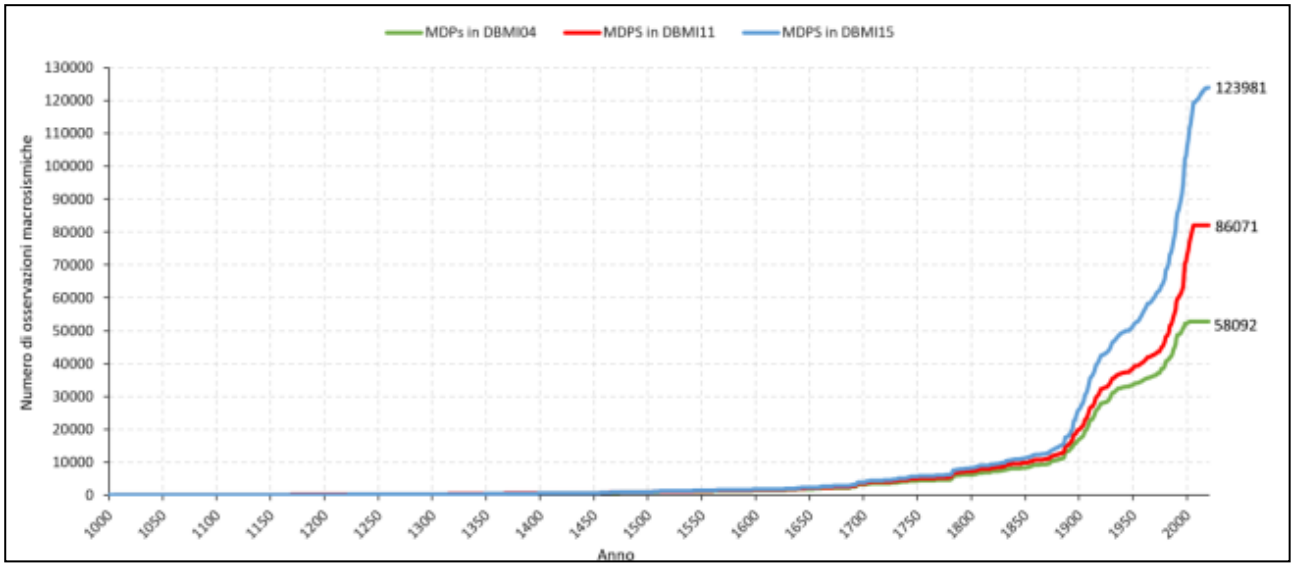


Figura 17: Confronto dell'andamento nel tempo del numero di MDP (Macroseismic Data Point): in verde DBMI04, in rosso DBMI11, e in azzurro DBMI15.

Di seguito viene riporta la mappa del catalogo CPTI15-DMBI15 desunta dal sito:

https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/.

Siziano

PlaceID	IT_18154
Coordinate (lat, lon)	45.316, 9.202
Comune (ISTAT 2015)	Siziano
Provincia	Pavia
Regione	Lombardia
Numero di eventi riportati	1

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Vidigulfo	1	4
Landriano	1	4
Locate di Triulzi	1	5
Lacchiarella	1	5
Bornasco	1	6
Zeccone	1	6
Badile	2	7
Ceranova	2	7
Casarile	1	8
Certosa di Pavia	2	8
Rozzano	2	8
Torrevecchia Pia	1	8
Binasco	7	8
Bascapè	3	9
Lardirago	3	9
San Genesio Ed Uniti	1	9
Rognano	1	9
Borgarello	2	10
Pasturago	1	10

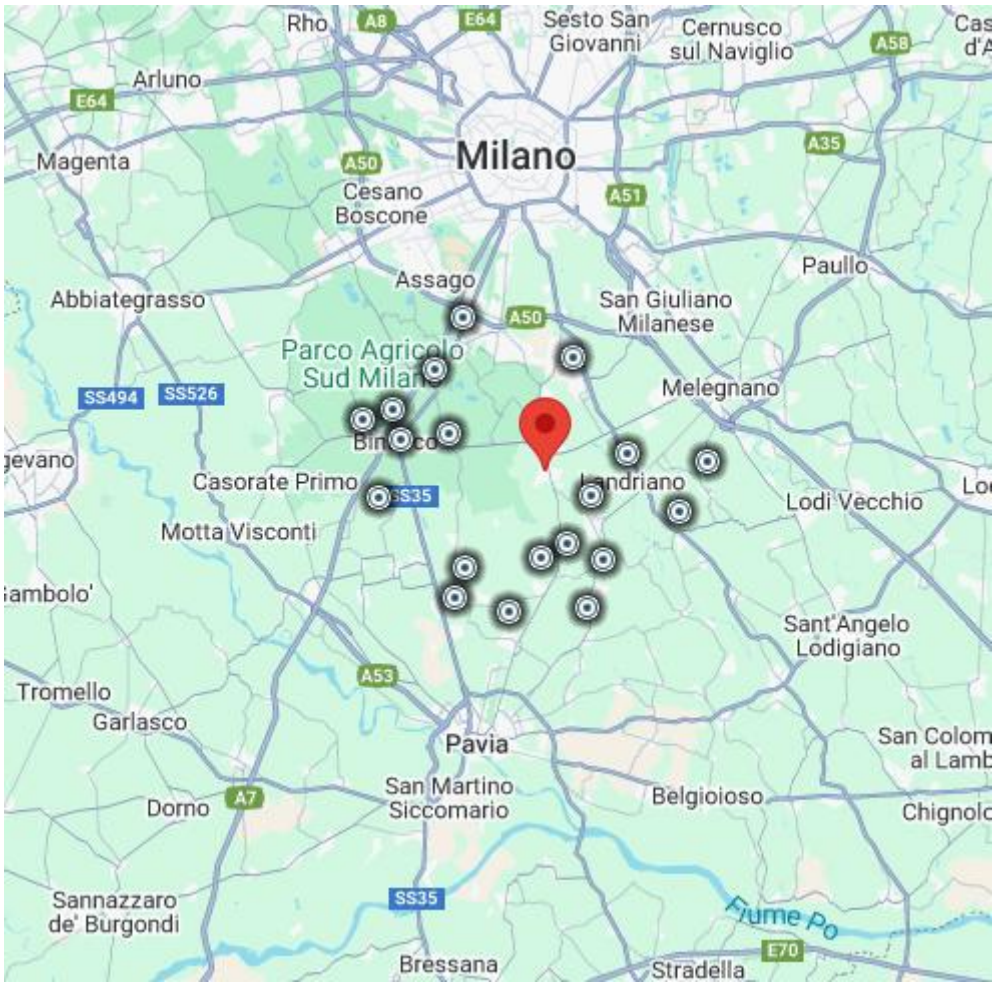


Figura 18: Dati desunti dalla consultazione del CPTI15 e DBMI15 per il comune di Siziano (PV).

8.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II definite in base ai valori della velocità equivalente $Vs_{,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $Vs_{,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente $Vs_{,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vi = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

H = Profondità del substrato sismico con Vs>800m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dalla prova sismica con metodologia M.A.S.W. eseguita in corrispondenza dell'area di indagine.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la verticale indagata, valori delle V_{seq} corrispondenti alle V_{s30} (il substrato simico non è stato intercettato entro i 30m di profondità) pari a **306 m/s** riferita all'attuale piano campagna.

Per la classificazione del suolo si è ritenuto più attendibile adottare le risultanze provenienti dalle prove eseguite in sito per cui il terreno è pertanto classificabile in **categoria C** *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 19: Tabella 3.2.II "Categoria di sottosuolo" – D.M. 17.10.2018.

Secondo la più recente revisione delle Norme Tecniche in vigore, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (categorie topografiche da NTC2018):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Figura 20: Tabella 3.2.III "Categoria topografica" – D.M. 17.10.2018

La categoria topografica del sito di intervento risulta T1.

8.4 FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO

Per la verifica della presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva oltre che per la determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo è stata eseguita una acquisizione puntuale (TR1) in passivo del microtremore sismico ambientale mediante geofono triassiale 3D e per una durata di venti minuti.

Si riportano di seguito i relativi diagrammi H/V elaborati dalla misurazione effettuata sull'area di interesse.

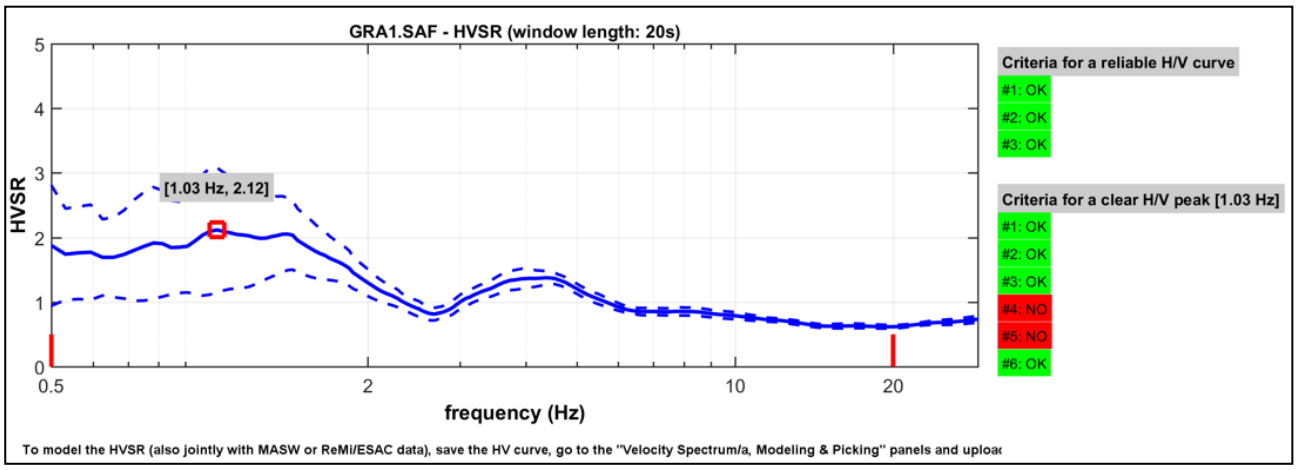


Figura 21: Rapporti spettrali H/V vs Hz rilevazione sismica passiva TR1.

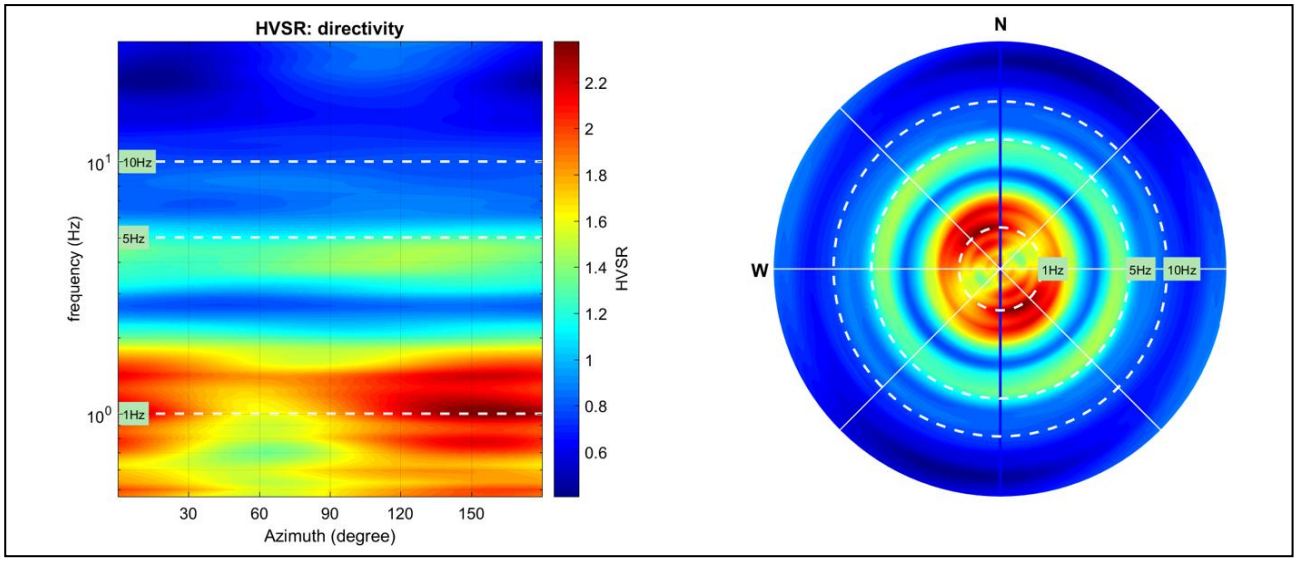


Figura 22: Direzionalità H/V rilevazione sismica passiva TR1.

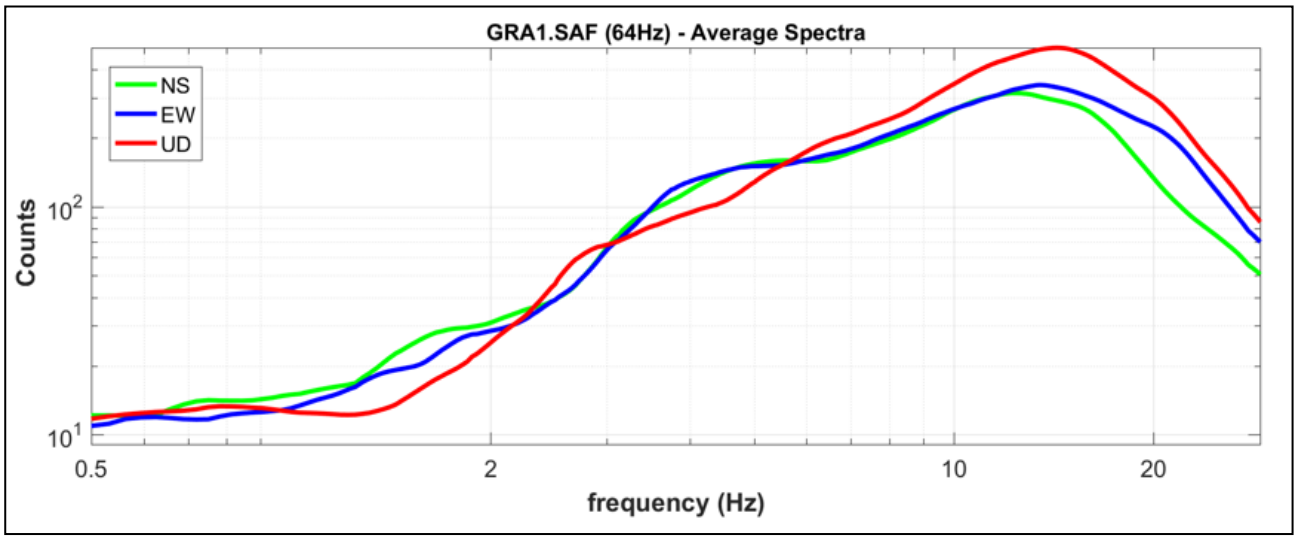


Figura 23: Spettri delle singole componenti rilevazione sismica passiva TR1.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dalla sua altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula:

freq. naturale edificio≅10 Hz / numeropiani

Si tenga conto che, se si verifica la seguente somiglianza tra risonanza del terreno e della struttura, si creano condizioni di pericolo, perché si dà luogo alla massima amplificazione:

freq. naturale edificio≅freq. naturale coperture

Dall'elaborazione dei risultati e dall'analisi degli stessi non si osservano importanti contrasti di impedenza che generano picchi accentuati anche se è possibile riconosce un picco principale alla frequenza di 1.03 Hz ed un picco di frequenza secondario a 4.0 Hz.

Si evince che tale valore di frequenza caratteristica e il valore di frequenza fondamentale di risonanza delle nuove strutture dovranno essere sufficientemente diversi così da non comportare il verificarsi di fenomeni di doppia risonanza.

8.5 ANALISI DI II LIVELLO

La valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla litologia è avvenuta mediante la procedura semplificata di 2° livello riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente ripresa dalla D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011 di Regione Lombardia; la sua applicazione richiede la conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito; e dell'andamento delle $V_{S,eq}$ con la profondità (spessore e velocità $V_{S,eq}$ di ciascuno strato); per la loro determinazione sono stati utilizzati i risultati ottenuti dalla esecuzione delle prove penetrometriche realizzate in sito unitamente ai dati relativi ad indagini geognostiche già realizzate ed alle stratigrafie delle indagini eseguite sul territorio comunale oltre che ai risultati emersi dall'esecuzione dell'indagine geofisica M.A.S.W.+H.V.S.R..

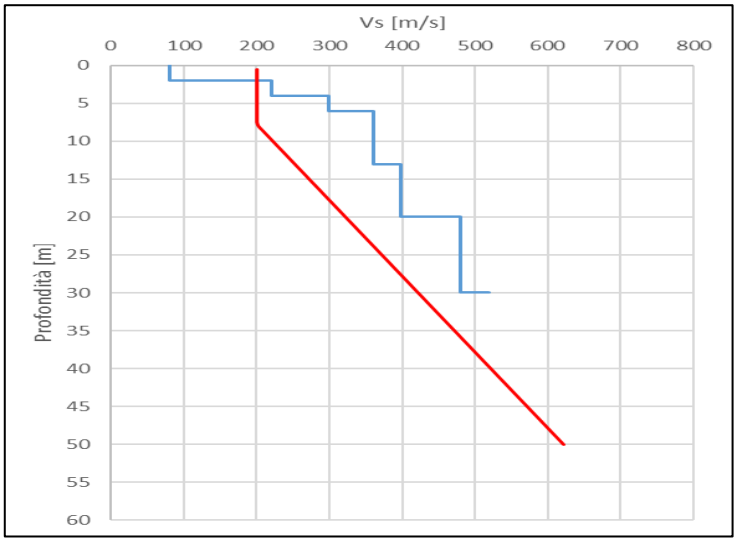
La procedura fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valori di Fattori di Amplificazione (F_a) dal punto di vista degli effetti litologici, al fine di determinare se la normativa nazionale risulta sufficiente o meno nella stima degli effetti di amplificazione sismica locale sulla base del confronto tra gli F_a calcolati e quelli di riferimento indicati dalla Regione Lombardia per ciascun comune; lo studio è condotto con metodi quantitativi semplificati, validi per le amplificazioni litologiche ed è utilizzato per caratterizzare l'area in esame in funzione del fattore F_a. Tale valore di F_a si riferisce quindi agli intervalli di periodo 0.1-0.5s e 0.5-1.5s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale, rispettivamente riferibili a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide (max. 4 piani) ed a strutture alte e flessibili (5 o più piani).

Sulla base dei parametri geotecnici e litologici si individua la litologia prevalente del sito e da questa si sceglie la relativa scheda di riferimento tra quelle riportate nella citata normativa regionale, che può essere utilizzata se l'andamento delle $V_{S,eq}$ ricade nel campo di validità dell'apposito diagramma riportato nella scheda. Successivamente ricavando lo spessore del primo "sismo-strato" con $V_{S,eq}$ pari ad almeno 200 m/s (il cui spessore deve essere di almeno 4 metri) si determina quali curve tra quelle riportate nella scheda per i due diversi intervalli di periodo descritti occorre utilizzare per la valutazione del Fattore di Amplificazione, sulla base del periodo T del sito (calcolato a partire dall'andamento delle $V_{S,eq}$ con la profondità fino agli 800 m/s direttamente misurati o ipotizzati con adeguato gradiente).

STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI
ai sensi della D.G.R. IX/2616 - 30.11.2011 di Regione Lombardia

Scheda "LITOLOGIA LIMOSO-SABBIOSA TIPO 2"

L1		
Spess. (m)	Prof. (m)	V_s (m/s)
2,0	2,0	81
2,0	4,0	220
2,0	6,0	300
7,0	13,0	360
7,0	20,0	399
9,9	29,90	480
0,1	30,00	520



$V_{S,eq}$ (m/s)	Cat. sottosuolo
306	C

Periodo T (s)
0.51

Primo strato	
Prof. (m)	20,0
V_s (m/s)	305,33

Curva caratteristica	
n.	3

Profondità primo strato (m)

Velocità primo strato (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60
200				1	1	1	1	1	1	1												
250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1							
300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2						
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

VERIFICA

Periodo	Valori F_a di sito	Valori F_a di soglia Comune di SIZIANO			
		Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 < T < 0.5 s	**1.74**	1.40	**1.80**	2.20	2.00
0.5 < T < 1.5 s	**1.48**	1.70	**2.40**	4.20	3.10

La procedura ha permesso di stimare gli F_a con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarli con i corrispettivi valori di soglia, considerando una variabilità di ±0.1, che tiene conto la variabilità dei valori degli F_a ottenuti.

Dalla verifica deriva che, sia nel caso di edifici bassi (considerando come consentito da normativa la variabilità di ±0.1), che nel caso di edifici alti, il valore di F_a calcolato e riferito alla categoria di suolo C è inferiore al valore di riferimento; pertanto, lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo C risulta sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

9 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per la valutazione della risposta sismica locale si è proceduto mediante quanto indicato nelle NTC in modo da determinare l'azione sismica da inserire nelle verifiche progettuali.
La definizione dell'azione sismica è stata eseguita attraverso i seguenti passaggi.

9.1 SISMOSTRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito la stratigrafia sismografica di riferimento partendo dalle velocità delle onde Vs ricavate dalla prova MASW eseguita presso l'area di studio fino alla profondità di 30,00m.

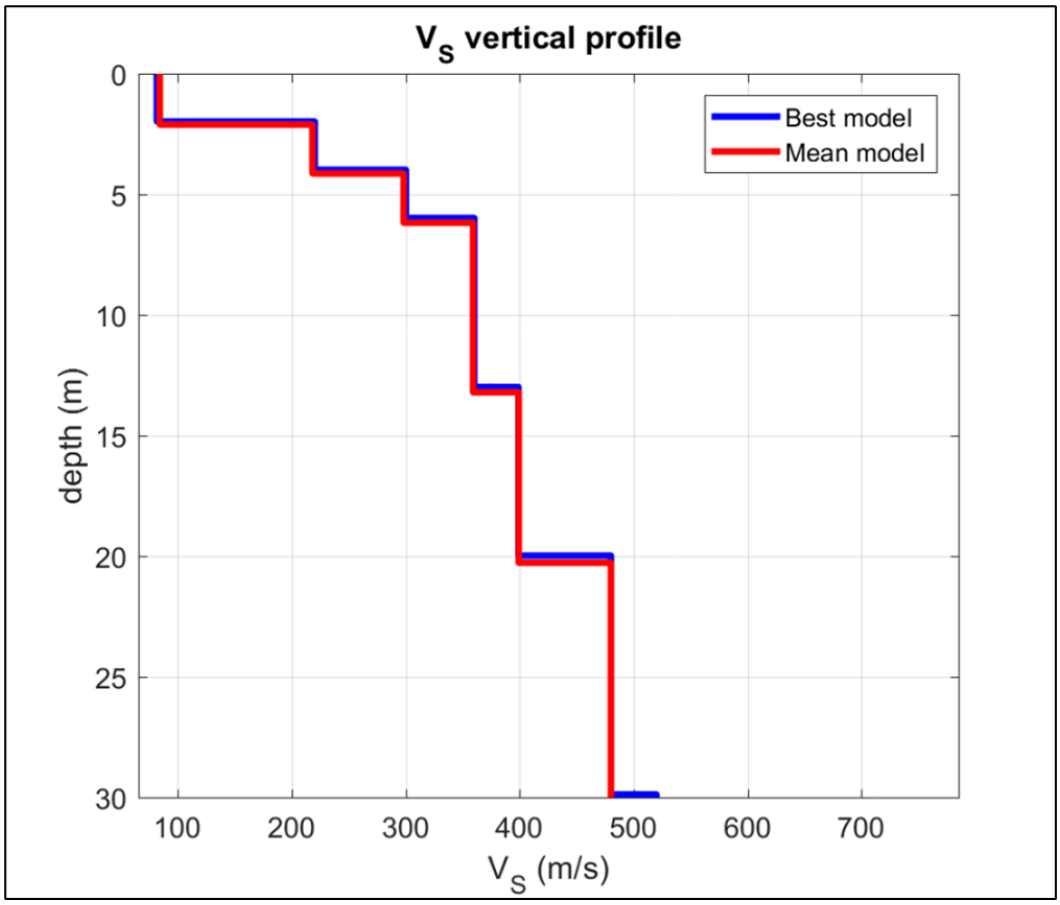


Figura 24: Diagramma delle velocità Vs riferite ai vari strati intercettati nella prova MASW.

Dalla profondità 30,00 m fino al bedrock sismico, è stato ricostruito l'andamento delle velocità delle onde secondo quanto indicato nella ***Deliberazione di Giunta regionale 30 novembre 2011 – n. IX/2616 "Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12', approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n.8/7374", pubblicata sul BURL n. 50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012***.

Nel ***capitolo 2.2.2 – Effetti litologici*** di questo decreto, si dichiara quanto segue:

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- *litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;*
- *stratigrafia del sito;*
- *andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle Vs può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock (Vs ≥ 800 m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;*
- *spessore e velocità di ciascun strato;*
- *sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi*.

La stratigrafia sismografica di riferimento è stata ottenuta considerando l'andamento litostratigrafico proveniente dal pozzo ad uso potabile terebrato nel comune di SIZIANO , nei pressi dell'area di studio, ritenuto attendibile per la caratterizzazione sismica e per la definizione del bedrock (basamento pliocenico).

Si riporta di seguito la stratigrafia del pozzo :

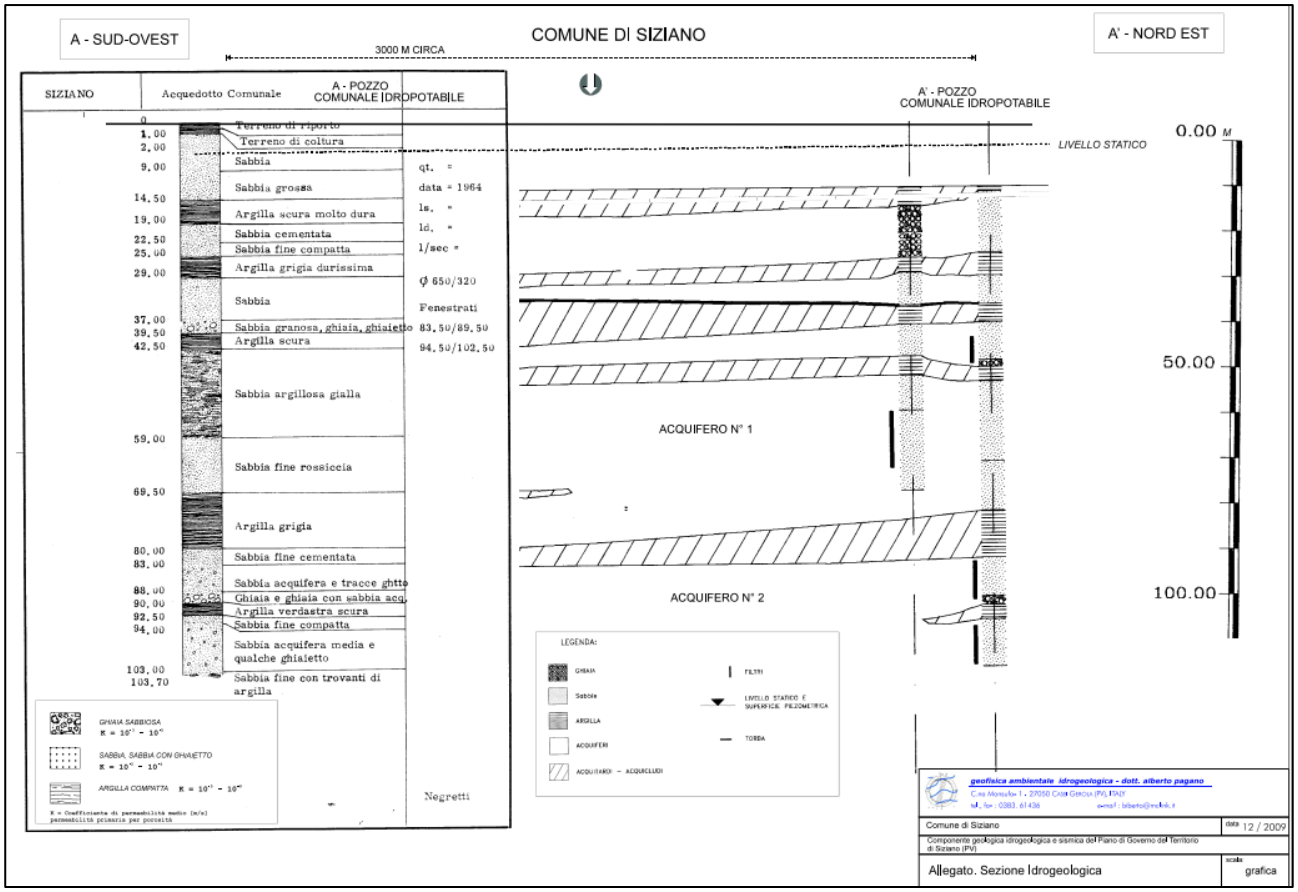


Figura 25: Sezione idrogeologica – Comune di Siziano - Pozzo idropotabile

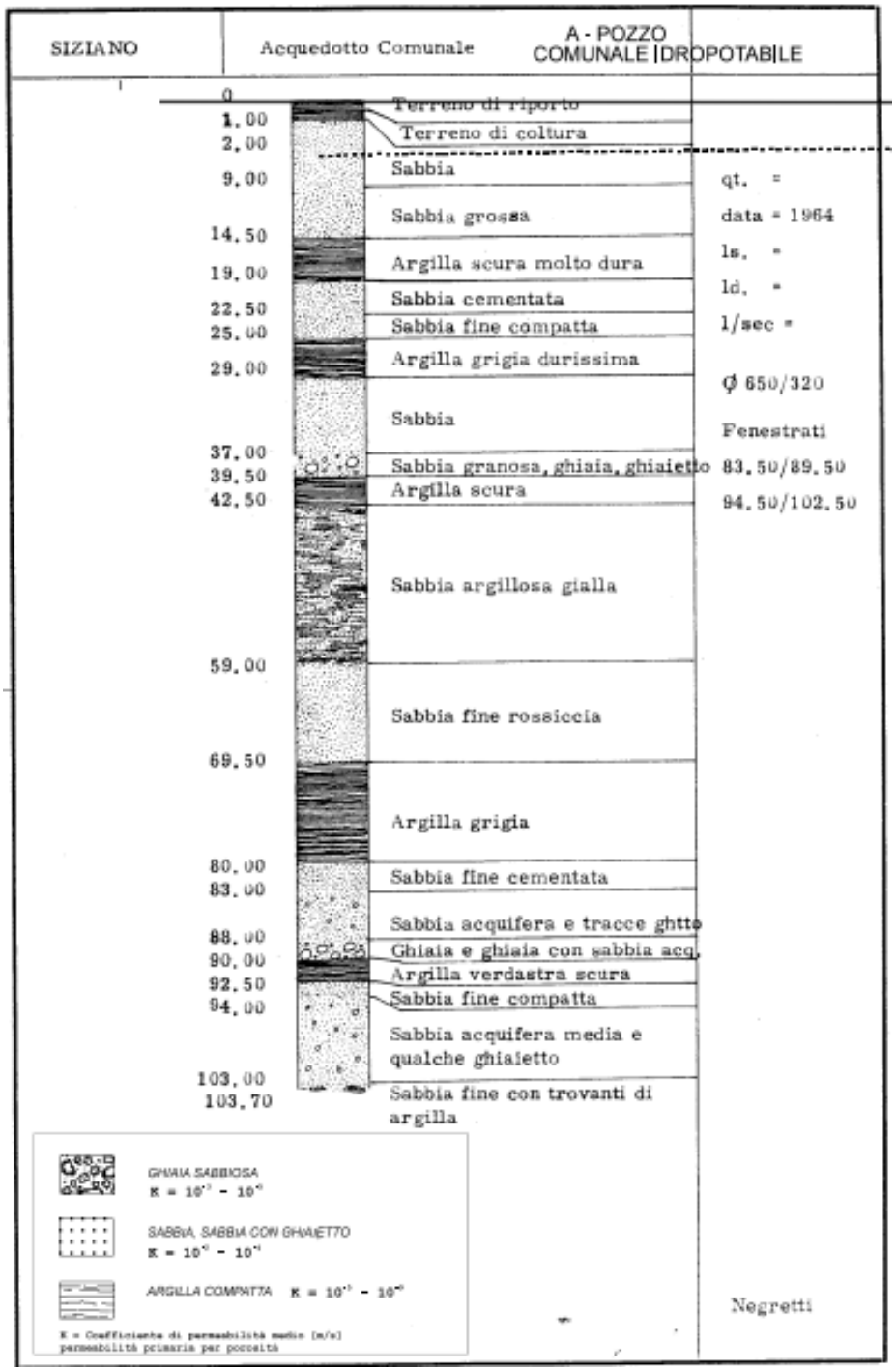


Figura 26: Stratigrafia del pozzo idropotabile

Di seguito si riporta la stratigrafia sismografica di riferimento.

Strato	Profondità [m]	Litologia	Velocità delle onde Vs [m/s]
1	0.00-2.00	Riporto	**81**
2	2.00-6.00	Limi sabbiosi	**220**
3	6.00-7.00	Sabbie limose	**300**
4	7.00-11.50	Argille limose/limi argillosi	**360**
5	11.50-13.50	Sabbie addensate	**399**
6	13.50-17.00	Alternanze di Sabbie con ciottoli e sabbie limose	**480**
7	17.00-30.00	Sabbie limose	**520**
8	30.00-39.50	Sabbia con strati di sabbia granosa, ghiaia e ghiaietto	**560**
9	39.50-42.50	Argilla scura	**620**
10	42.50-59.00	Sabbia argillosa giallo	**675**
11	59.00-69.50	Sabbia fine rossiccia	**730**
12	>69.50	Argilla grigia (basamento roccioso)	**800**

Tabella 1: Stratigrafia sismografica di riferimento.

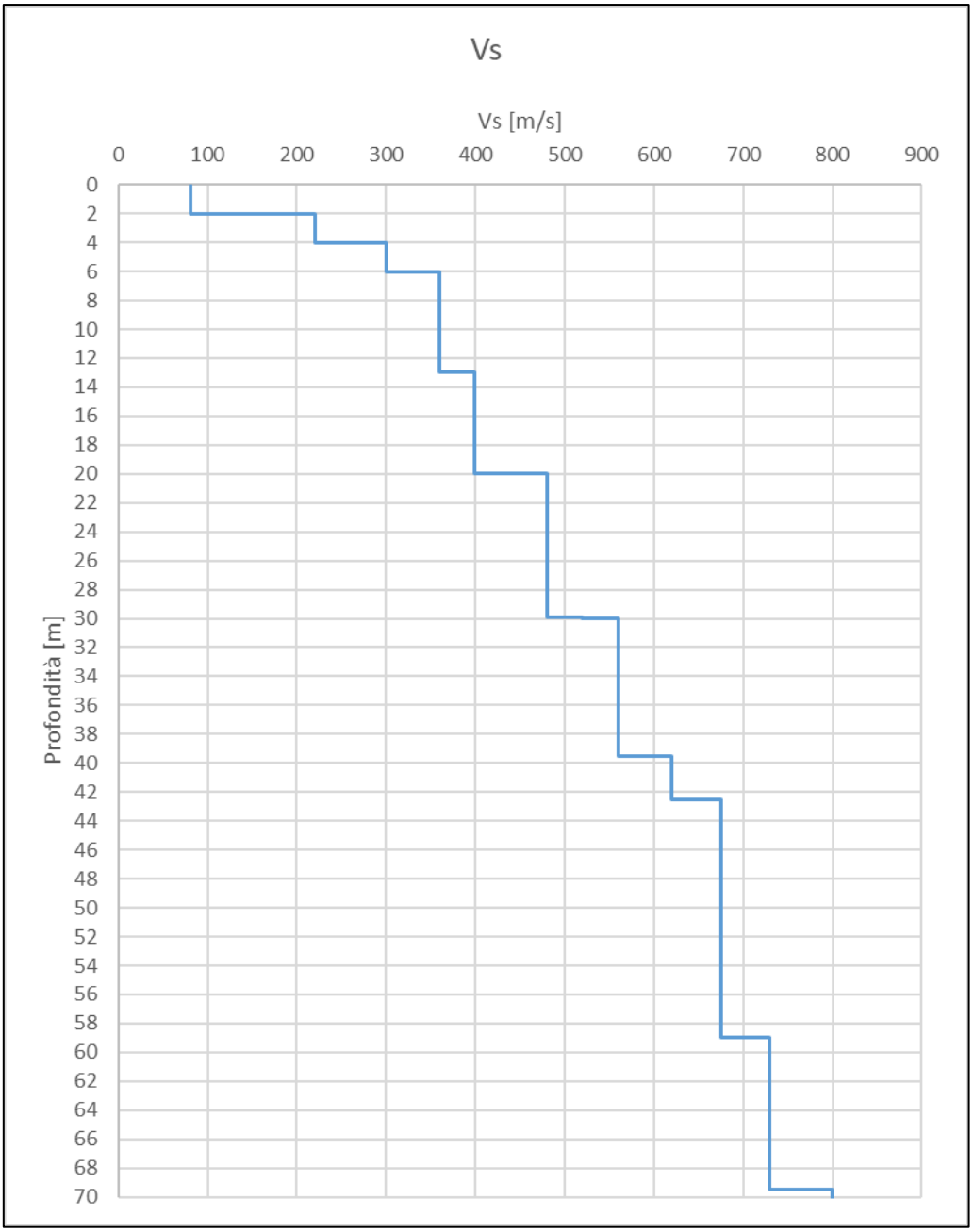


Figura 27 - Diagramma delle velocità Vs riferite ai vari strati intercettati fino al bedrock (Basamento pliocenico)

9.2 ACCELERAZIONE DI BASE A(G)

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per il calcolo dei parametri sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri:

- ***Classe II:*** costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. C_U = 1.0;
- **Vita nominale dell'opera V_N**: intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata (da questo valore viene calcolato il Periodo di riferimento per l'azione sismica VR come:

  $$V_R=V_N*C_U$$

  dove C_U è il coefficiente d'uso);
- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR:** in funzione dello stato limite di riferimento.

Nel caso dell'opera in oggetto sono considerati i seguenti valori:

- **Vita nominale V_N**: ≥50 anni: costruzioni con livelli di prestazioni odinari.
- **Coefficiente d'uso C_U**: 1.0 relativo alla classe d'uso II.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica:** VR=VN*CU= 50*1.0=50 anni.

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,020	2,551	0,180
SLD	50	0,026	2,555	0,199
SLV	475	0,056	2,607	0,283
SLC	975	0,070	2,617	0,295

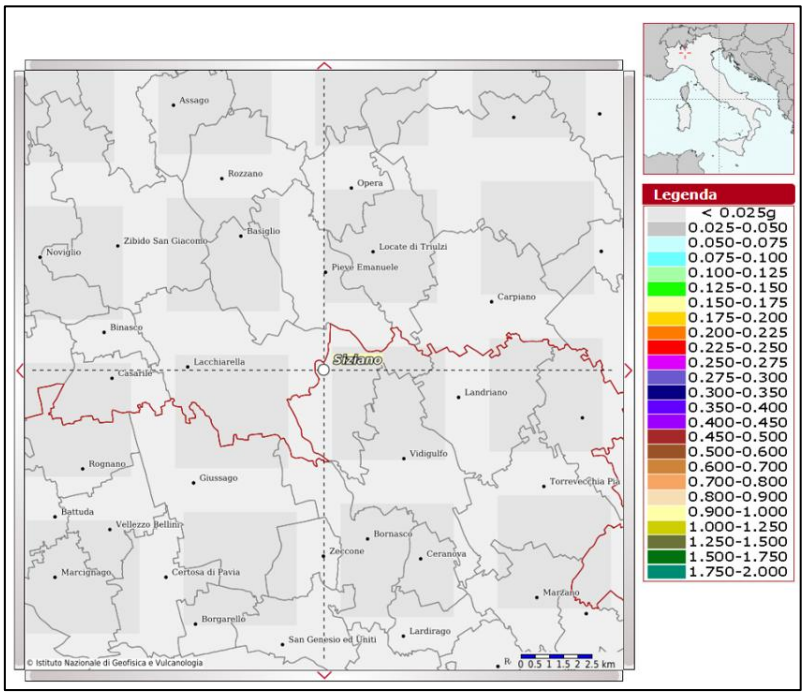
Tabella 2: Riassunto delle accelerazioni del sito ai diversi stati limite.

9.3 DATI DI DISAGGREGAZIONE

Per l'estrazione degli accelerogrammi di input bisogna conoscere, oltre ai valori di ag, i dati di disaggregazione, ovvero le coppie di intervallo magnitudo - distanza che concorrono a determinare la pericolosità sismica di sito. I dati di disaggregazione sono stati ricavati dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e sono riportati nelle figure seguenti.

In particolare, per lo **stato limite SLO** è selezionata una probabilità del **81% in 50anni**, per lo **stato limite SLD** è stata selezionata una **probabilità del 63%,** per lo **stato limite SLV** è stata selezionata **una probabilità del 10% in 50 anni** e per lo **stato limite SLC** è stata selezionata una **probabilità del 5% in 50anni.**

Stato limite SLO



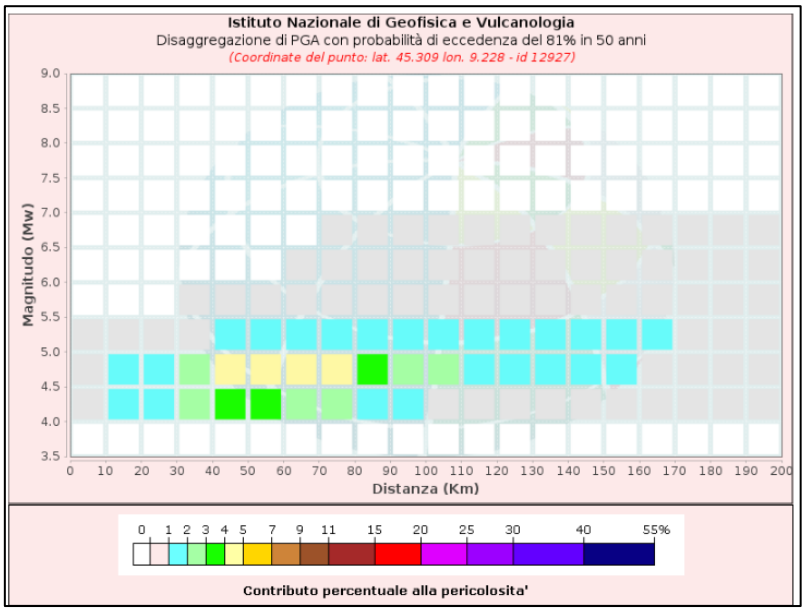


Figura 28: Disaggregazione SLO.

Stato limite SLD

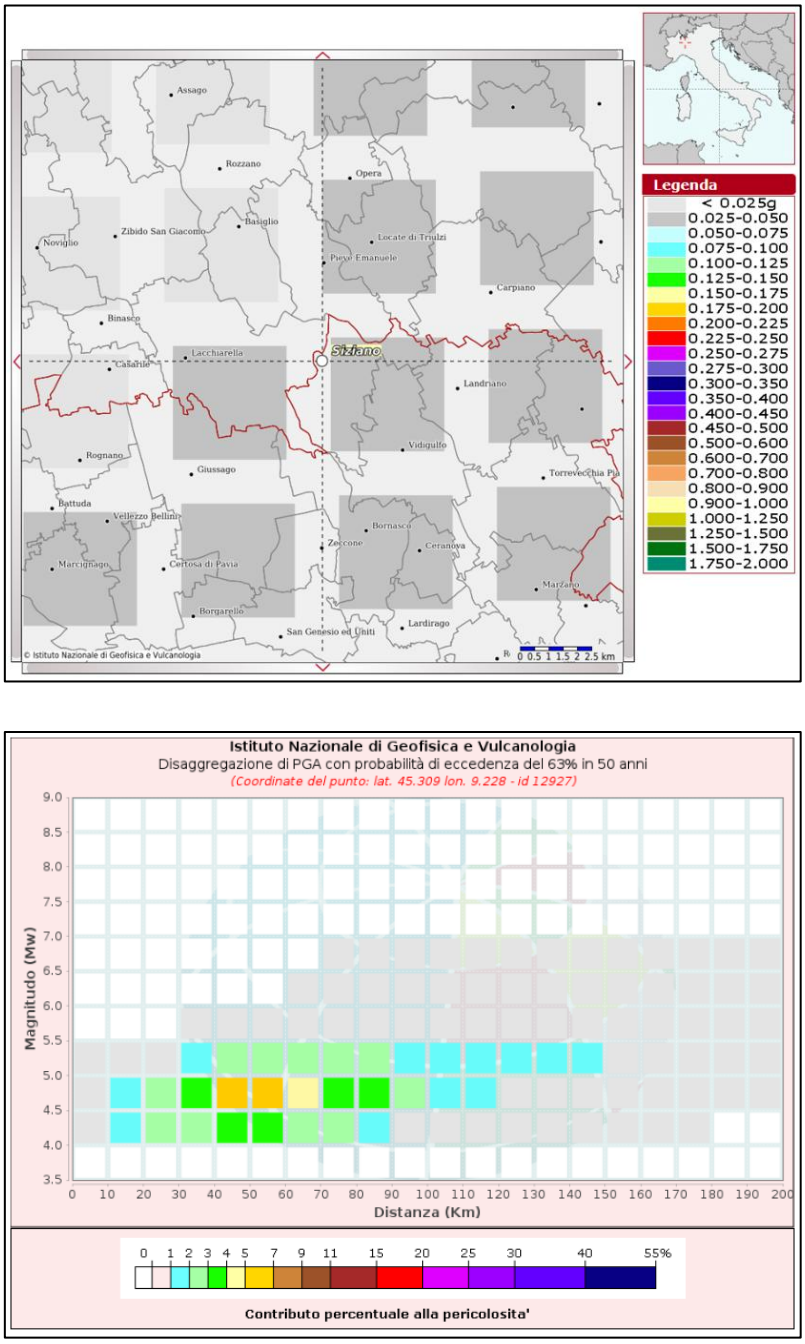
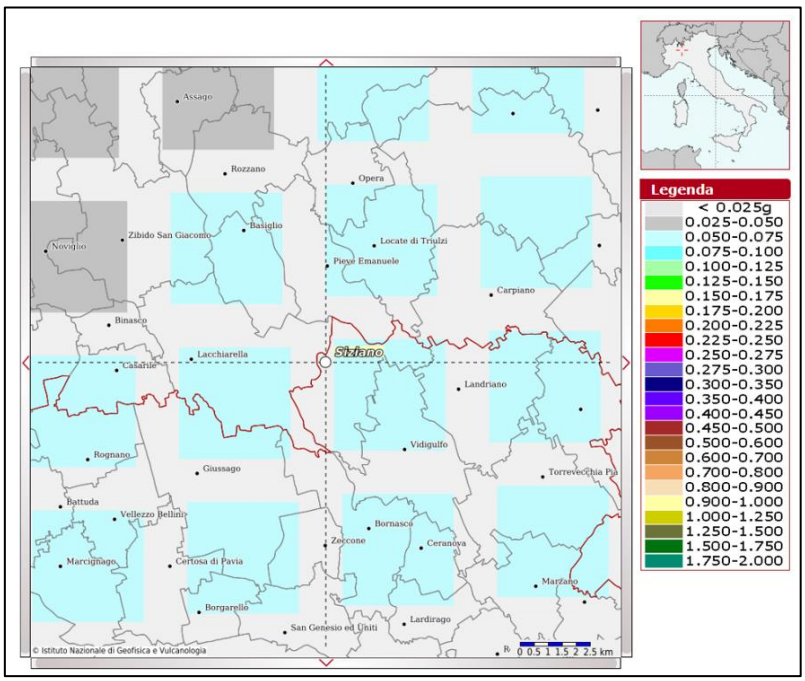


Figura 29: Disaggregazione SLD.

Stato limite SLV



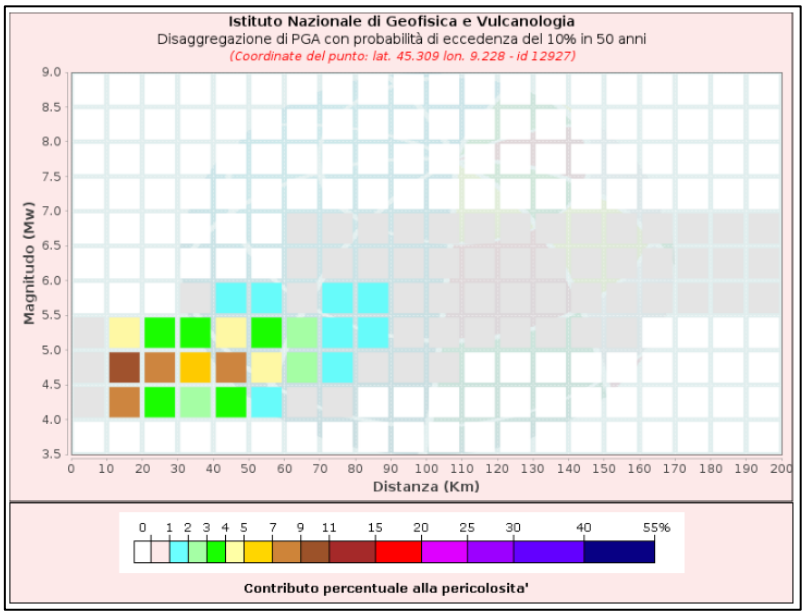
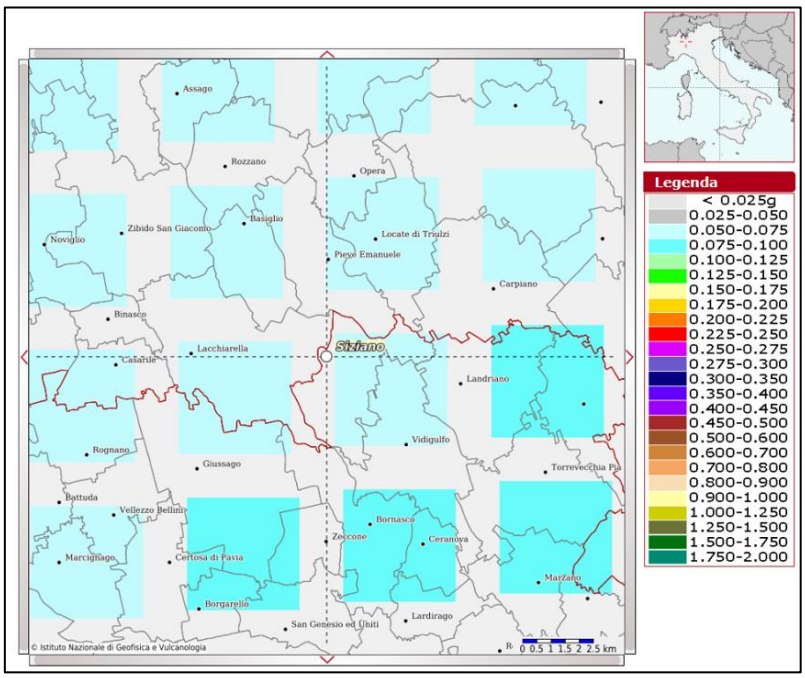


Figura 30: Disaggregazione SLV.

Stato limite SLC



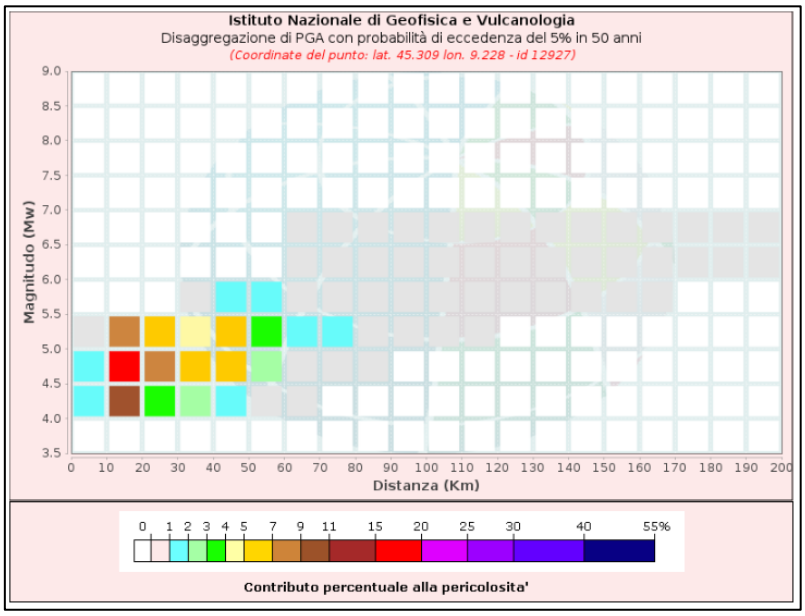


Figura 31: Disaggregazione SLC.

9.4 ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI DI INPUT

Partendo dai dati di accelerazione di base e disaggregazione ricavati precedentemente, è stato possibile avviare l''estrazione degli accelerogrammi di input naturali.

A tale scopo è stato utilizzato il software di riferimento Rexel V 3.5, messo a punto dalla ReLUIS di Napoli.

Il software permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali per applicazioni ingegneristiche da più banche dati, tra le quali la banca dati europea ESD (Amvreaseys et al., 2004), la banca dati italiana ITACA (Working Group ITACA, 2010) e la banca dati Simbad (Smerzini e Paolucci, 2011).

Inseriti i dati di partenza raccolti precedentemente (accelerazione di base e disaggregazione) è stato possibile quindi ricavare 7 accelerogrammi naturali, che sono poi stati utilizzati per l'esecuzione dell'analisi della Risposta Sismica Locale.

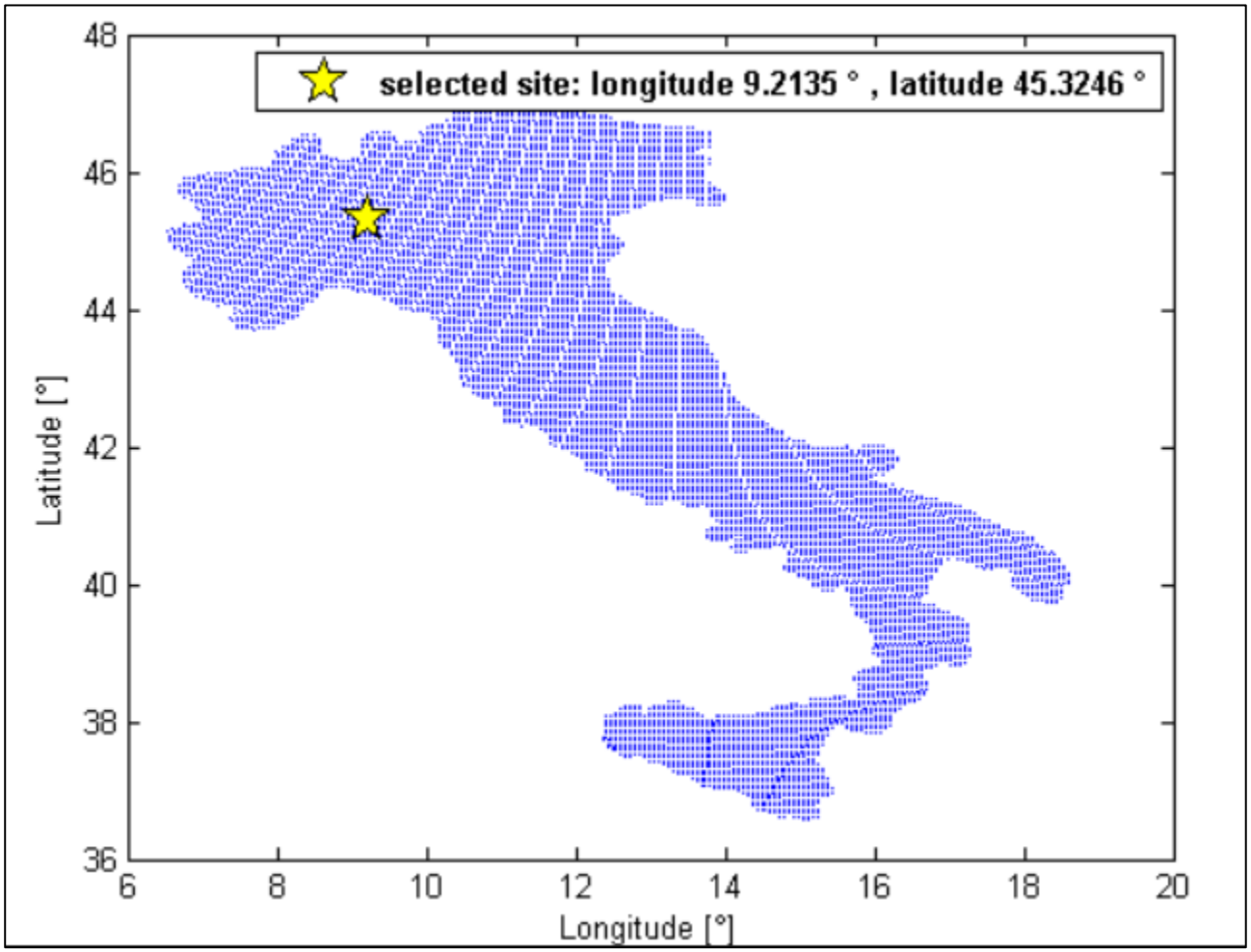


Figura 32: Ubicazione dell'area di studio.

Stato limite SLO

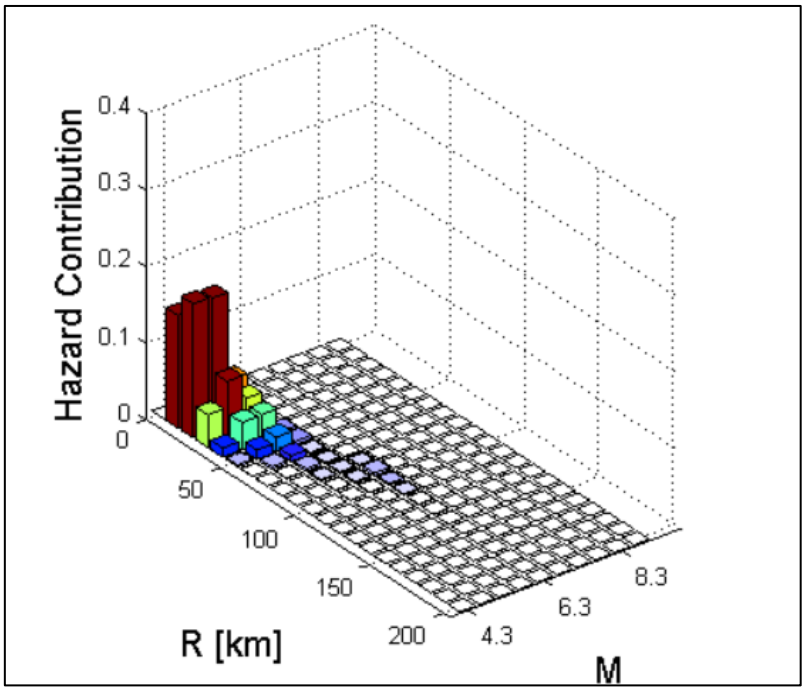


Figura 33: Raggio – Magnitudo –Area di analisi allo SLO.

Stato limite SLD

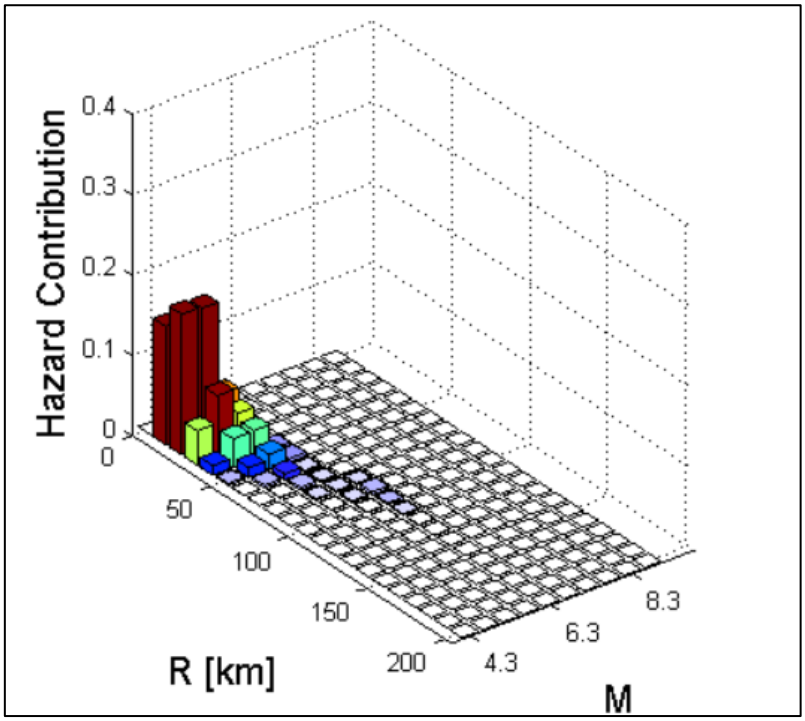


Figura 34: Raggio – Magnitudo – Area di analisi allo SLD.

Stato limite SLV

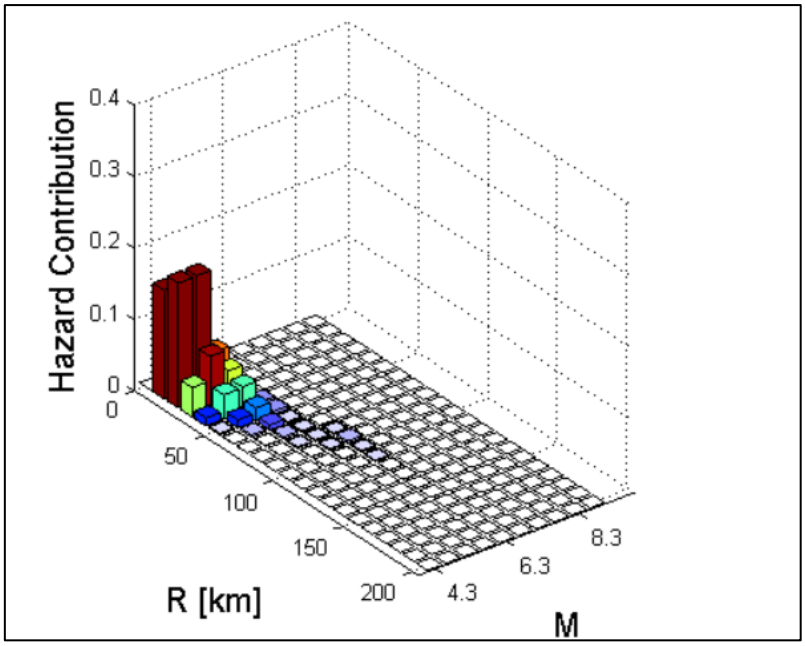


Figura 35: Raggio – Magnitudo – Area di analisi allo SLV.

Stato limite SLC

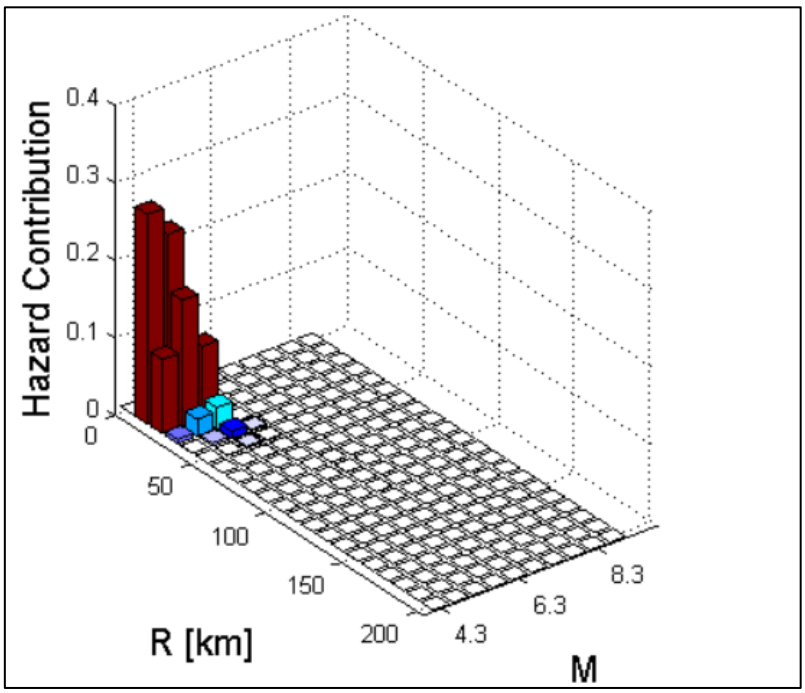


Figura 36: Raggio – Magnitudo – Area di analisi allo SLC.

La valutazione della risposta sismica locale è stata valutata utilizzando il programma RSLIII (Geostru). Partendo dagli accelerogrammi ricavati da Rexel V 3.5, sono stati valutati gli accelerogrammi di progetto.
Si riporta di seguito la procedura utilizzata, rimandano ai capitoli seguenti la valutazione dei risultati.

9.5 PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata dal software RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.
Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

- Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
- Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - Stima della funzione di trasferimento;
  - Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

  Le prime 3 operazioni sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
- Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M-1}{10}$$

dove *M* rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t}\right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \qquad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)^{i\omega t} \qquad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega t)\frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \qquad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \qquad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \qquad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega}\xi \qquad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa delle variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z,t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \qquad (7)$$

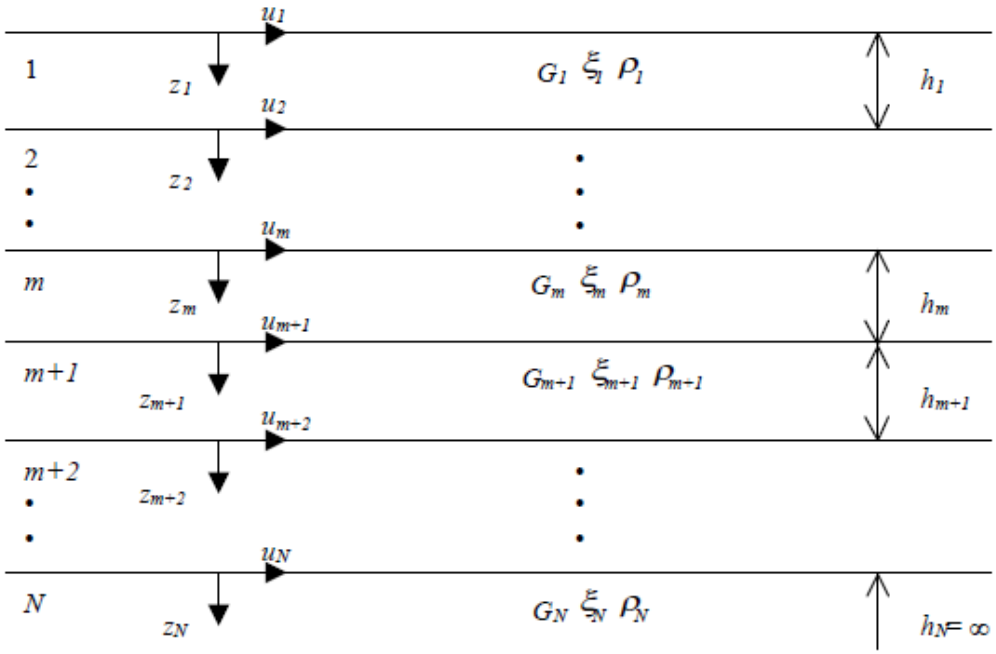


Figura 37: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega\sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \tag{8}$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z,t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \tag{9}$$

Per il generico strato *m* di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità (z = 0) ed al fondo (z = h_m), sono:

$$u_m(0,t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \tag{10}$$

$$u_m(h_m,t) = \left(E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \right) e^{i\omega t} \tag{11}$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \tag{12}$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \tag{13}$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'*m*-esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m - F_m\right] e^{i\omega t} \tag{14}$$

$$\tau_m(h_m,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m e^{ik_m^* h_m} - F e^{ik^* h_m}\right] e^{i\omega t} \tag{15}$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \tag{16}$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}\left(E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}\right) \tag{17}$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m \left(1 + \alpha_m^*\right) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m \left(1 - \alpha_m^*\right) e^{-ik_m^* h_m} \tag{18}$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m \left(1 - \alpha_m^*\right) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m \left(1 + \alpha_m^*\right) e^{-ik_m^* h_m} \tag{19}$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati *m* ed *m+1*, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \tag{20}$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0,t) = ik_1^* G_1^* \left[E_1 - F1\right] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 al strato m. La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati *m* ed *n* è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \tag{21}$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti *m* e *n*. In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z,t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z,t) \qquad \ddot{u}(z,t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z,t) \tag{22}$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati *n* ed *m*:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \tag{23}$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità *z* e al tempo *t* dalla relazione:

$$\gamma(z,t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^*\left(Ee^{ik^+z} - Fe^{-ik^+z}\right)e^{i\omega t} \tag{24}$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z,t) = G^*\gamma(z,t) \tag{25}$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica della figura seguente in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

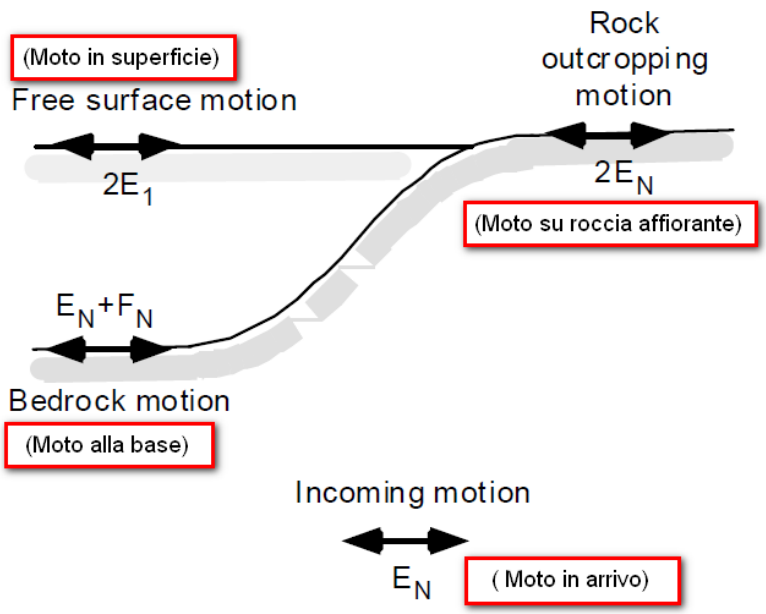


Figura 38: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a E_N+F_N. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle (E_N = F_N), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \tag{26}$$

A è non lineare poiché *G* è funzione di *γ*. Nella procedura di calcolo, infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di *γ*. Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo *G* così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per *G(γ)* adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI)(\sigma'_m)^{m(\gamma,PI)-m_0} \tag{24}$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5\left\{1 + tanh\left[ln\left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma}\right)^{0.492}\right]\right\} \tag{25}$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272\left\{1 - tanh\left[ln\left(\frac{0.000556}{\gamma}\right)^{0.4}\right]\right\}exp(-0.0145PI^{1.3}) \tag{26}$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & per\ \ PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & per\ \ 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & per\ \ 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & per\ \ PI > 70 \end{cases} \tag{27}$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \tag{28}$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

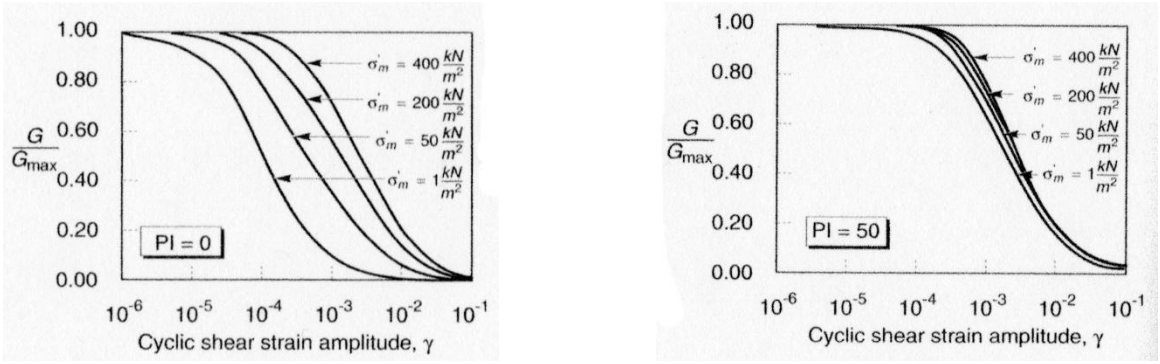


Figura 39: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ, in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333\,\frac{1+exp\left(-0.0145\,PI^{1.3}\right)}{2}\left[0.586\left(\frac{G}{G_{max}}\right)^2 - 1.547\frac{G}{G_{max}} + 1\right] \qquad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

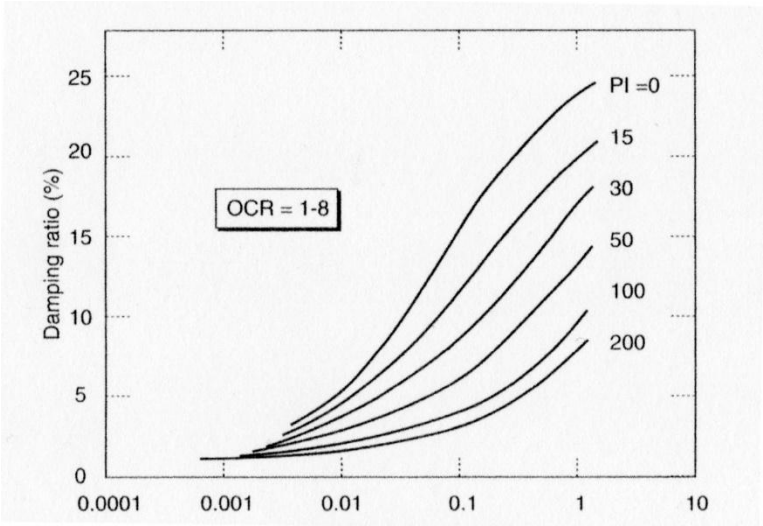


Figura 40: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

9.6 VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

La risposta sismica locale è stata valutata considerando la configurazione attuale del sito.

Le indagini geofisiche sono effettuate in corrispondenza del sito individuato come idoneo per il sito e quindi ritenute attendibili.

La sismostratigrafia di riferimento per l'analisi della risposta sismica locale tiene conto del terreno di fondazione naturale:

- Spessore degli strati;
- Tipo di materiale, selezionato da quelli presenti in archivio del programma che fanno riferimento a materiali di bibliografia;
- Peso per unità di volume;
- Velocità delle onde medie di taglio Vs.

Partendo da questi parametri, il software ricostruisce la profondità media di ogni strato, la Gmax all'interno dello strato e la tensione verticale.

Per l'assegnazione del tipo di materiale di ogni strato si è fatto riferimento alle indagini geognostiche.

È stato considerato la stratigrafia di riferimento descritta in questa specifica relazione per valutare la risposta sismica locale

Il tipo di materiale per la determinazione delle leggi di variazione del rapporto G/Gmax e del coefficiente di smorzamento in funzione della deformazione a taglio scelto per gli strati del terreno.

9.7 RISULTATI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

9.7.1 DATI GENERALI

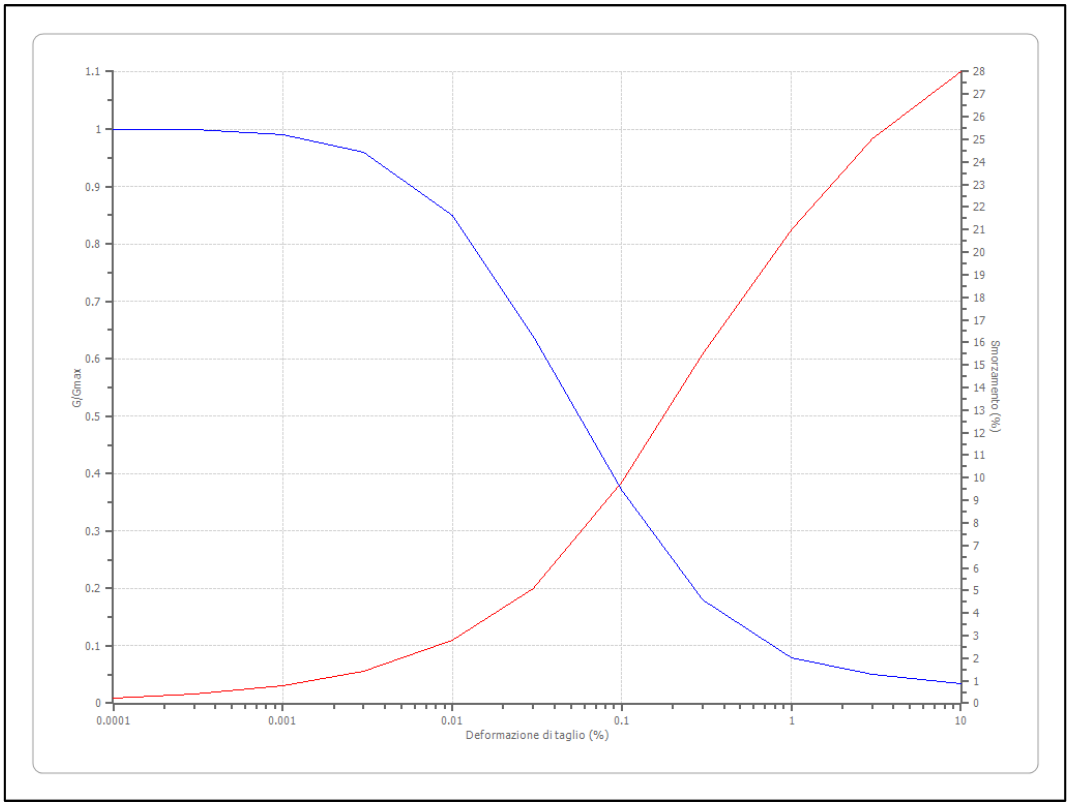
Latitudine	45,32458[°]
Longitudine	9,213538[°]

- **Stratigrafia**

Le diversi litologie presenti nell'area oggetto di studio sono assimilate nel software ai dati seguenti:

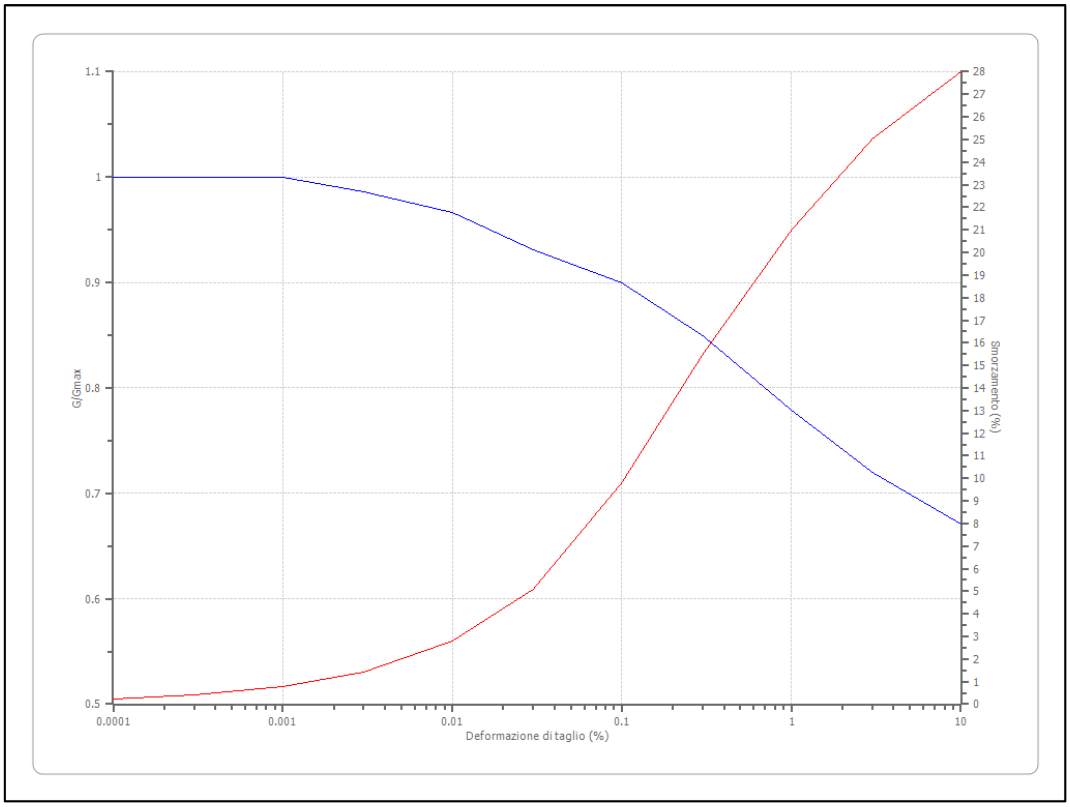
Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000

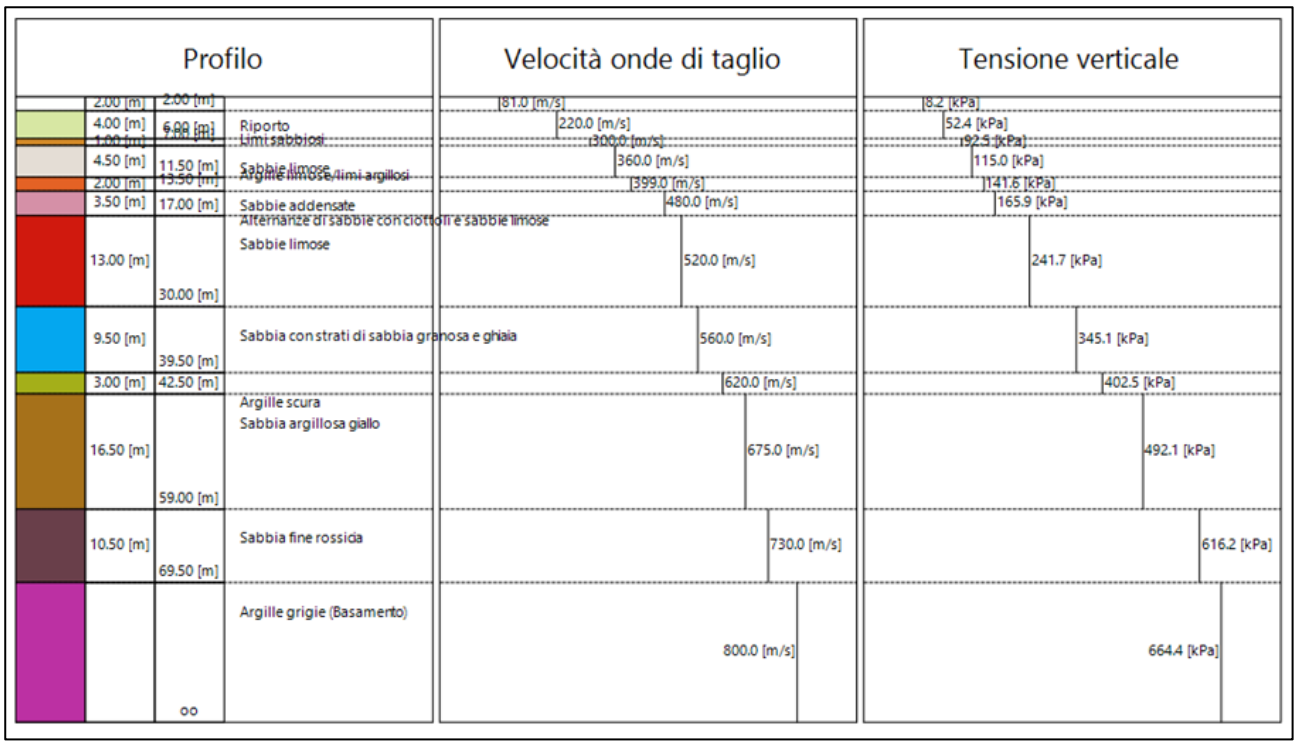

G/Gmax
Smorzamento (%)
Deformazione di taglio (%)
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.0001
0.001
0.01
0.1
1
10

Stratigrafia

n.	Descrizione	Prof. [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Riporto	--	2.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	12.04	--	18.0	81.0	8.2
2	Limi sabbiosi	2.0	4.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	88.81	--	18.0	220.0	52.4
3	Sabbie limose	6.0	1.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	165.14	--	18.0	300.0	92.5
4	Argille limose/limi argillosi	7.0	4.5	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	237.80	--	18.0	360.0	115.0
5	Sabbie addensate	11.5	2.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	292.11	--	18.0	399.0	141.6
6	Alternanze di sabbie con ciottoli e sabbie limose	13.5	3.5	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	446.24	--	19.0	480.0	165.9
7	Sabbie limose	17.0	13.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	523.71	--	19.0	520.0	241.7
8	Sabbia con strati di sabbia granosa e ghiaia	30.0	9.5	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	607.38	--	19.0	560.0	345.1
9	Argille scura	39.5	3.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	744.51	--	19.0	620.0	402.5
10	Sabbia argillosa giallo	42.5	16.5	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	882.45	--	19.0	675.0	492.1
11	Sabbia fine rossicia	59.0	10.5	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	1032.12	--	19.0	730.0	616.2
12	Argille grigie (Basamento)	oo	--	Smorzamento costante	0	1435.27	--	22.0	800.0	664.4

Strato con falda: **2**

Strato rilevamento accelerogramma: **12 Interno**



9.7.2 MODELLO REALIZZATO CON GLI ACCELEROGRAMMI ALLO SLO

<u>Accelerogrammi importati da Rexel V3.5</u>

Nelle immagini seguenti si riportano gli accelerogrammi trasportati da rexel v3.5.

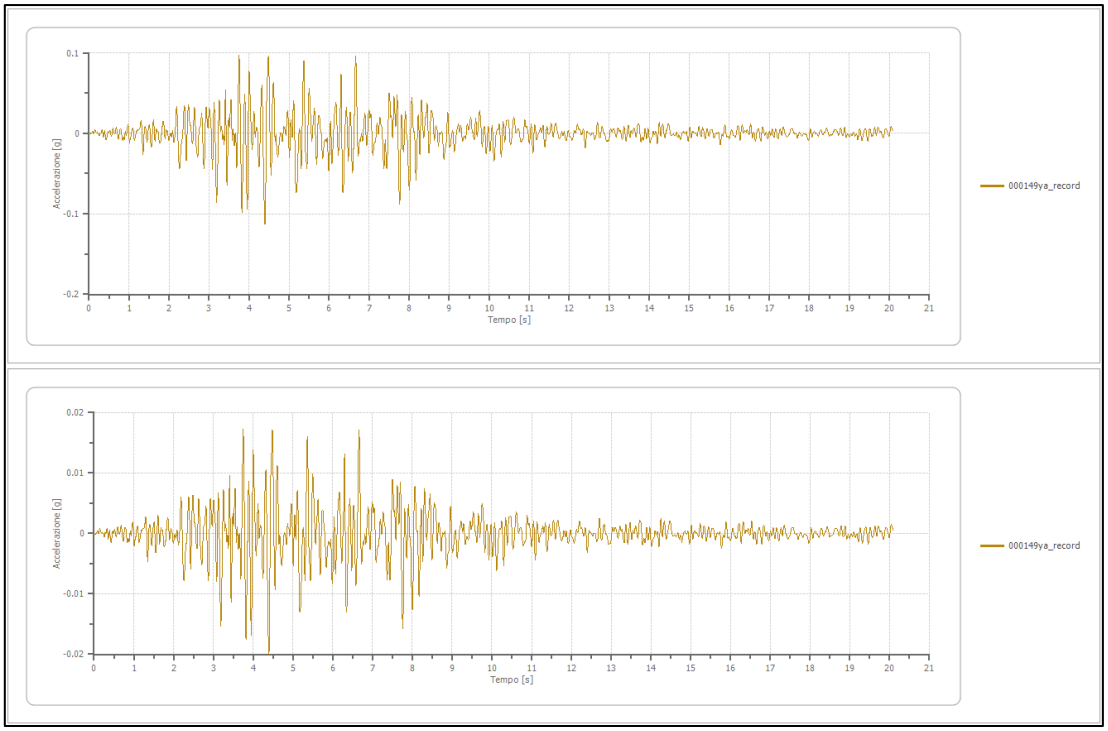


Figura 41: Accelerogramma 000149ya_record.

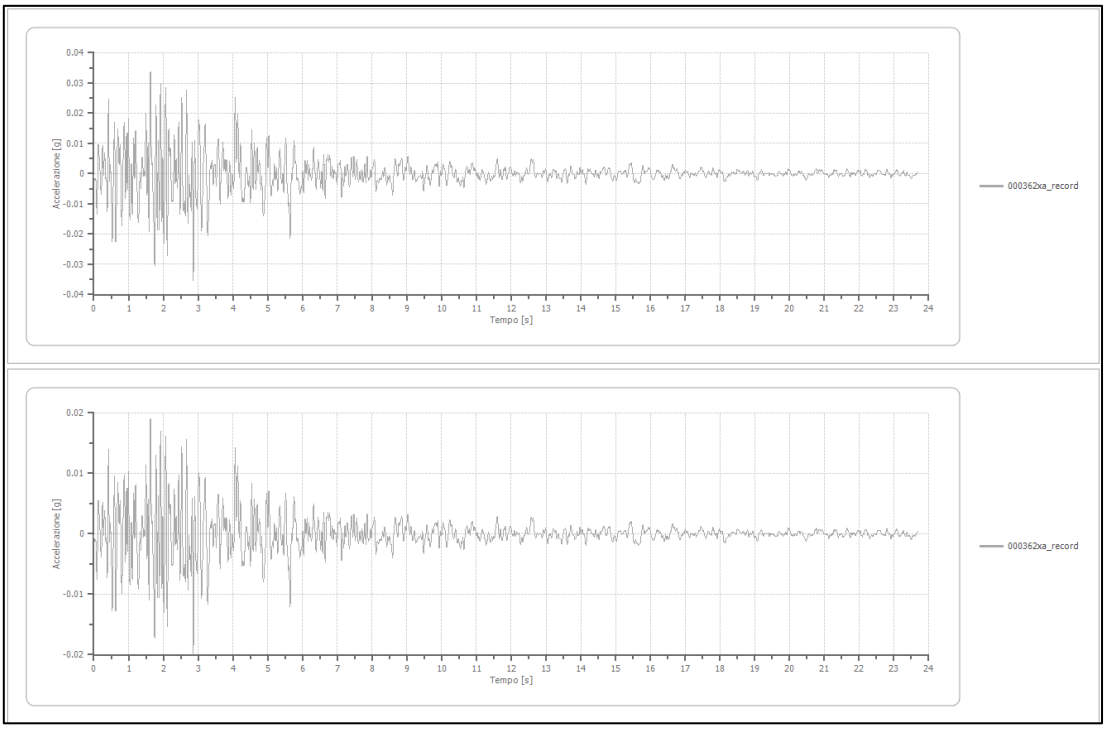


Figura 42: Accelerogramma 000362xa_record.

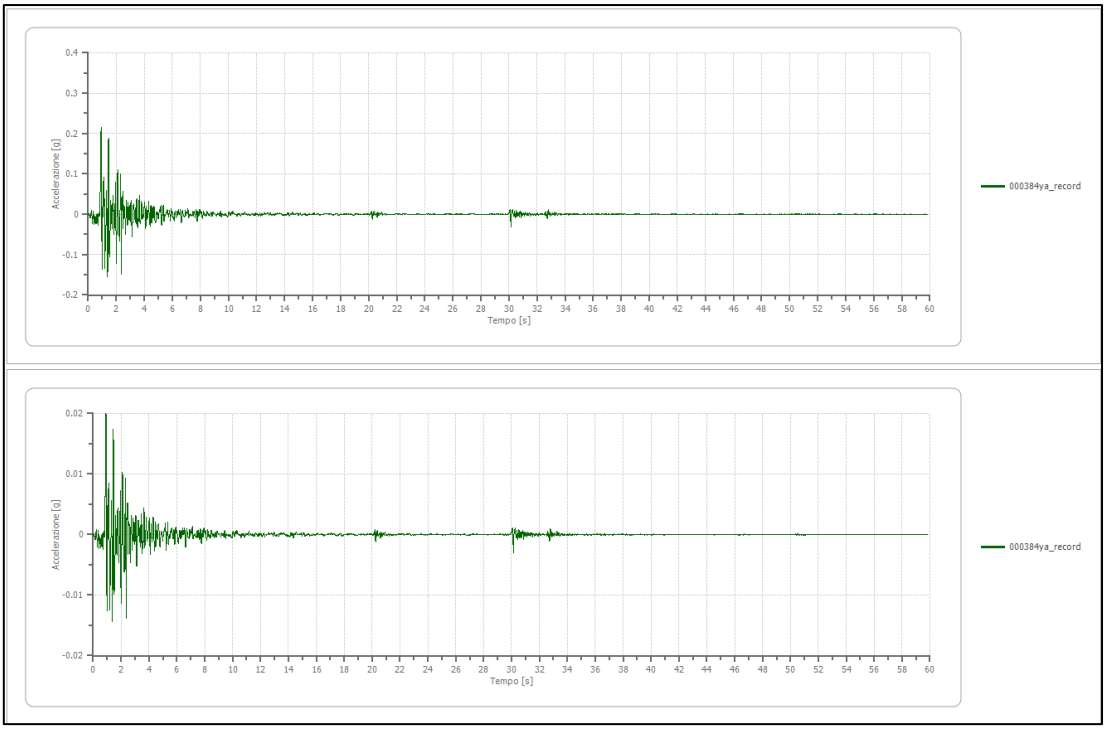


Figura 43: Accelerogramma 000384ya_record.

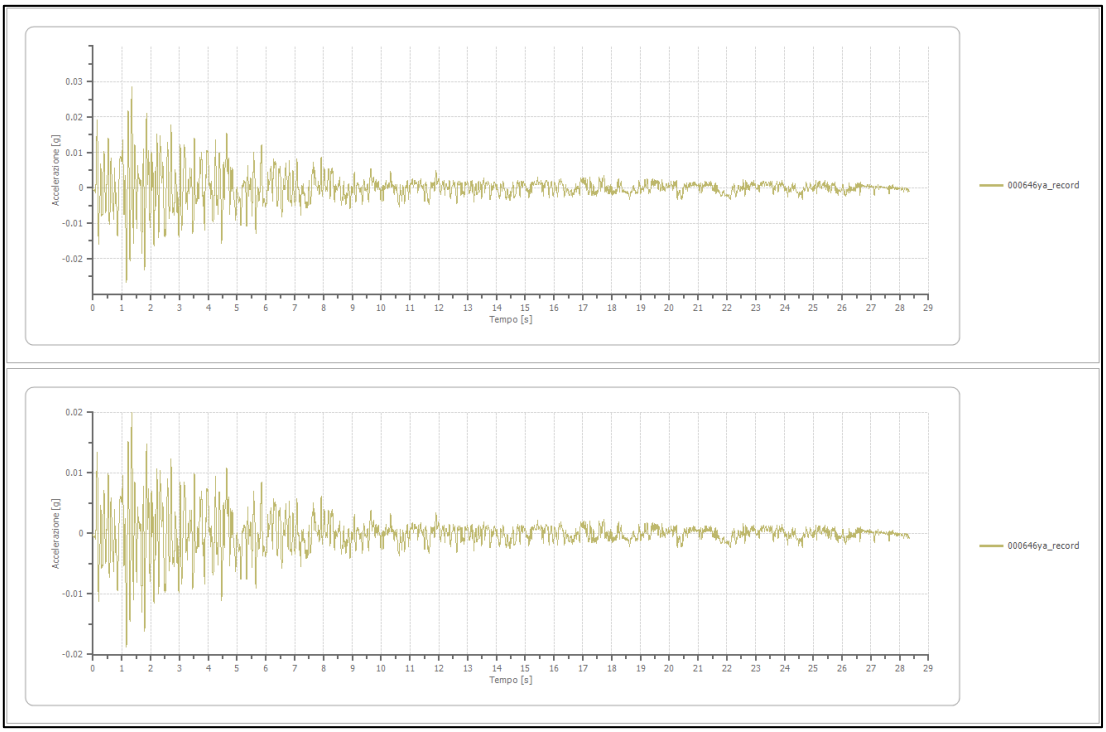


Figura 44: Accelerogramma 000646ya_record.

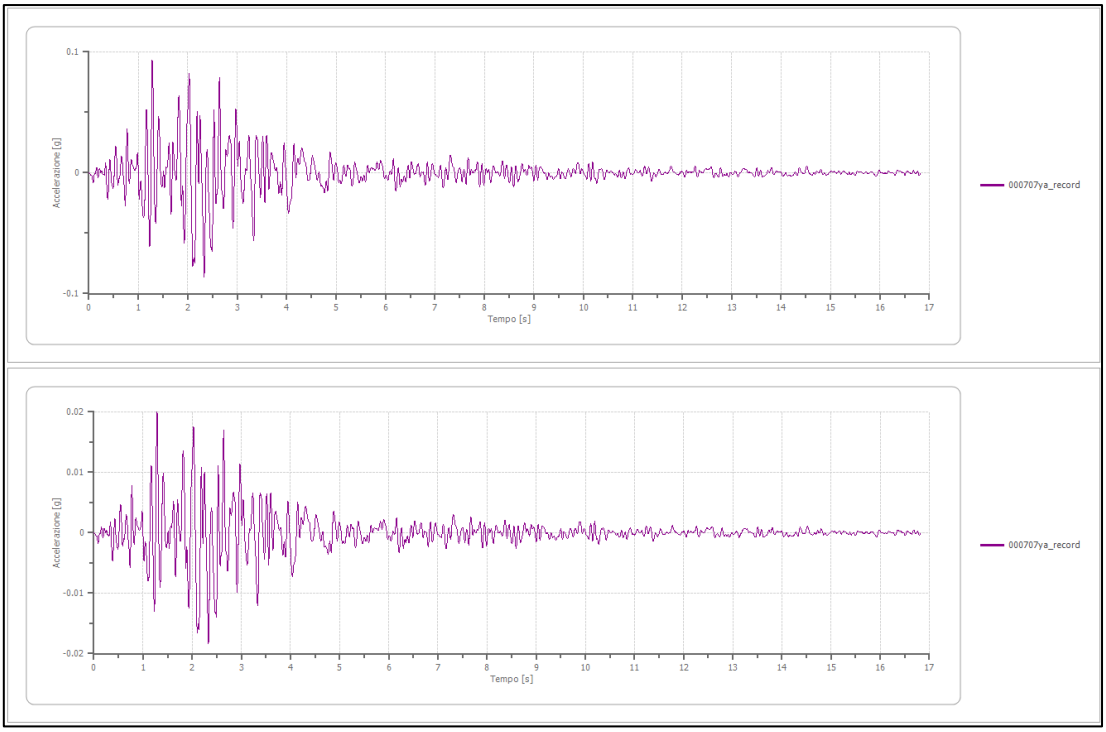


Figura 45: Accelerogramma 000707ya_record.

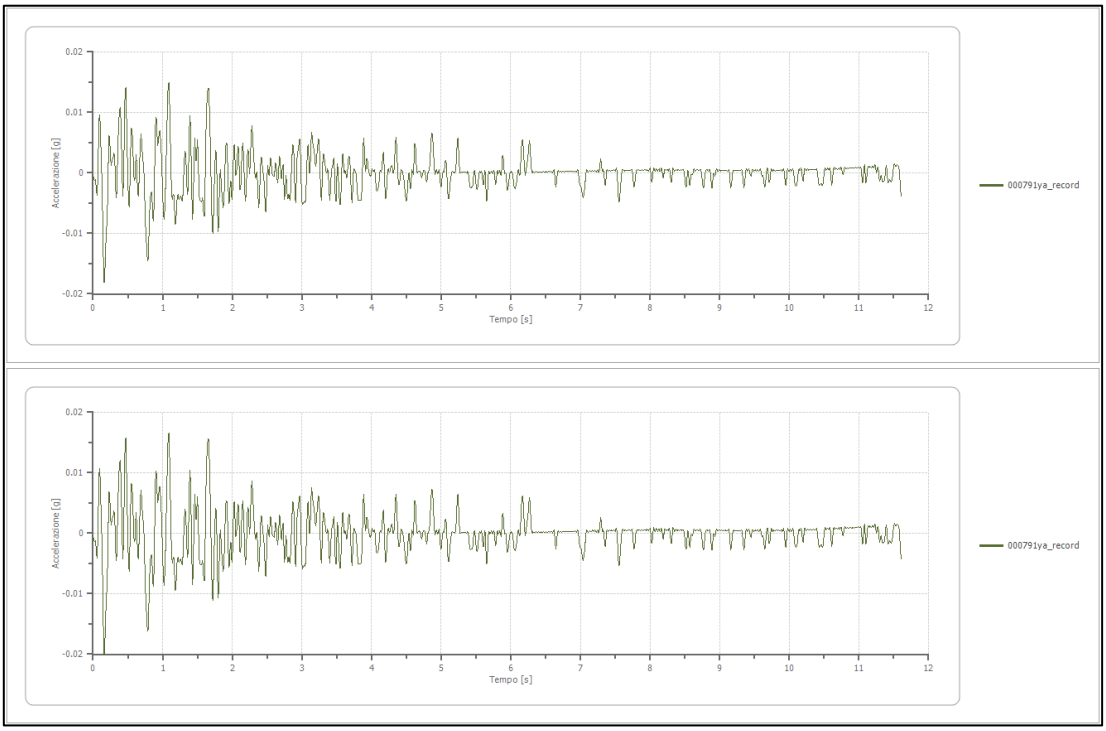


Figura 46: Accelerogramma 000791ya_record.

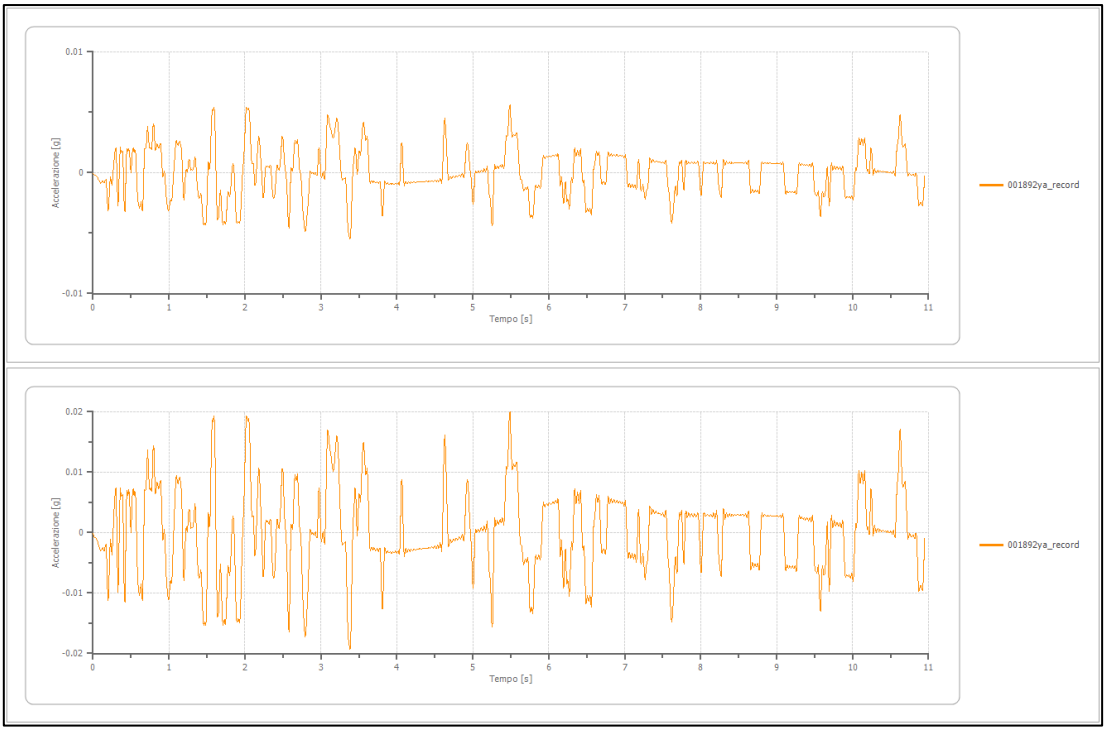


Figura 47: Accelerogramma 001892ya_record.

Risultati del modello

- **Elaborazione**

Numero di iterazioni 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

Massimo errore percentuale di convergenza 7.76 E-05

- **Fattori di amplificazione ICMS 2018**

Tai	0.120	[s]
Tvi	2.500	[s]
Tao	0.140	[s]
Tvo	2.350	[s]
Sami	0.750	[m/s²]
Svmi	0.027	[m/s]
Samo	0.520	[m/s²]
Svmo	0.026	[m/s]
Fa	**0.693**	**[-]**
Fv	**0.951**	**[-]**
TB	0.104	[s]
TC	0.312	[s]
TD	1.675	[s]
SA(0)	0.019	[g]
SA(TB)	0.053	[g]

I **fattori di amplificazione** sono così determinati:

1) Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TAi e dello spettro medio di output TAo;

2) Si ricavano i valori medi degli spettri di input (SAm,i) e di output (SAm,o) nell'intorno di TAi e di TAo come

$$SA_m = \frac{1}{TA}\int_{0.5TA}^{1.5TA} SA\ (T)dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3) Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T)\frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4) Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV}\int_{0.8TV}^{1.2TV} SV\ (T)dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio pi pseudovelocità di output.

5) Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6) Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettro normalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i}FV}{SA_{m,i}FA}$$

Periodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3}T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra TB e TC, ha ordinata pari a SAm,i*FA

Il ramo dello spettro a velocità costante (T>TC) ha ordinate pari a SAm,i*FA*(TC/T)

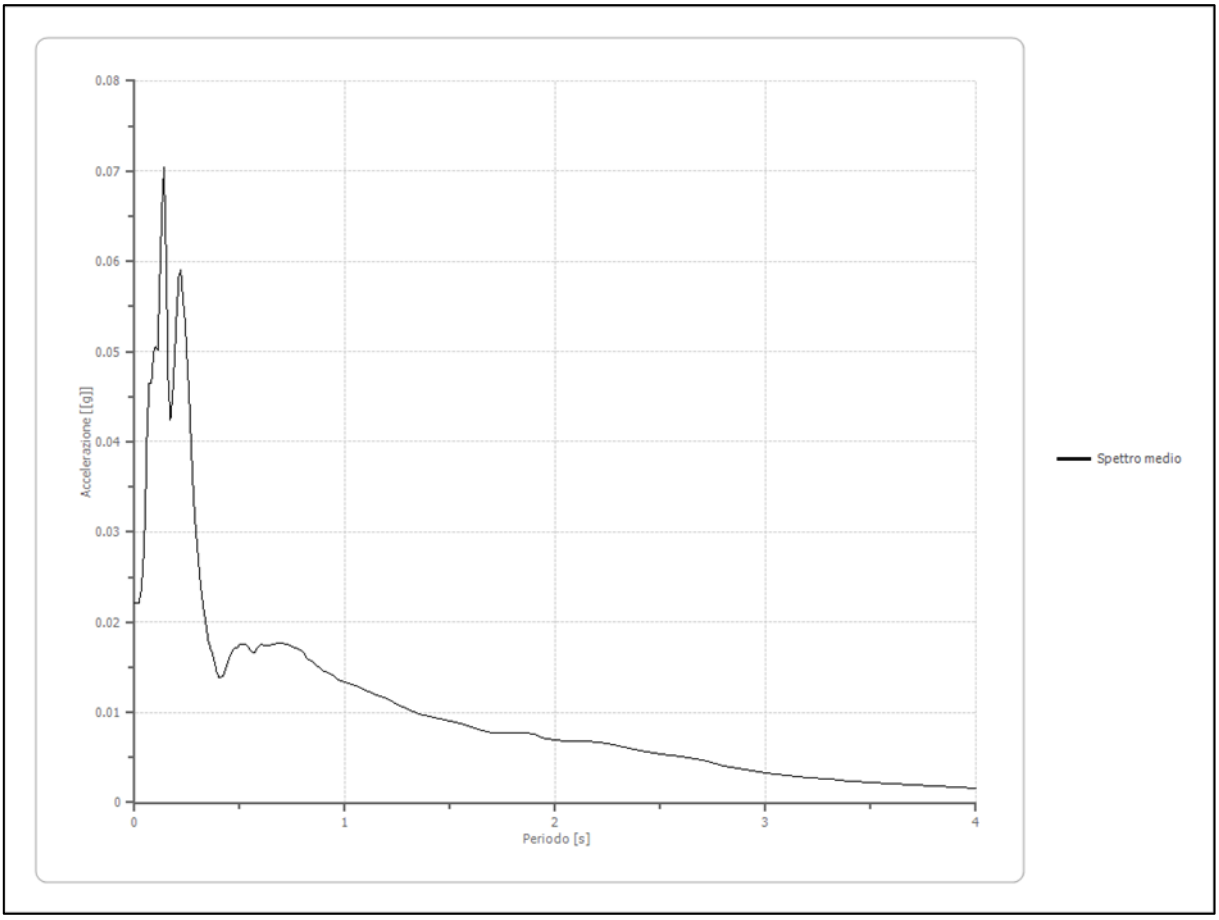
- **Fattori di amplificazione su intensità spettrale**

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.009	0.005	0.200	0.613
0.400	0.800	0.010	0.007	0.500	0.633
0.700	1.100	0.010	0.008	0.636	0.797
0.500	1.500	0.026	0.021	0.333	0.803

- **Spettro medio di risposta elastico**

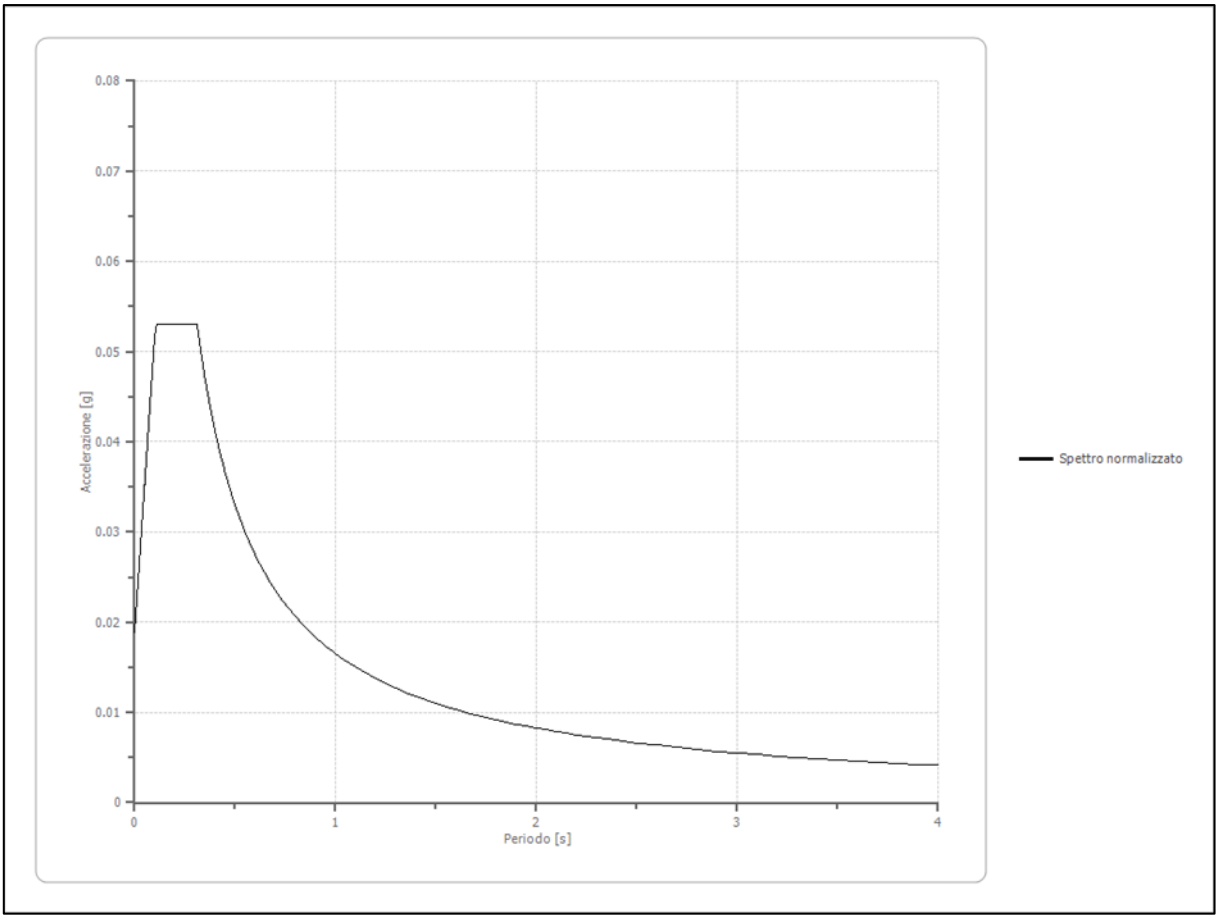
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0221	0.26	0.0447	0.52	0.0176	0.98	0.0135	2.25	0.0065
0.01	0.0221	0.27	0.0391	0.53	0.0175	1.00	0.0134	2.30	0.0062
0.02	0.0221	0.28	0.0341	0.54	0.0173	1.05	0.0129	2.35	0.0060
0.03	0.0231	0.29	0.0306	0.55	0.0169	1.10	0.0124	2.40	0.0057
0.04	0.0259	0.30	0.0277	0.56	0.0167	1.15	0.0119	2.50	0.0053
0.05	0.0315	0.31	0.0250	0.57	0.0166	1.20	0.0115	2.60	0.0051
0.06	0.0416	0.32	0.0229	0.58	0.0171	1.25	0.0109	2.70	0.0047
0.07	0.0464	0.33	0.0212	0.60	0.0175	1.30	0.0104	2.80	0.0041
0.08	0.0464	0.34	0.0197	0.62	0.0174	1.35	0.0098	2.90	0.0036
0.09	0.0498	0.35	0.0180	0.64	0.0174	1.40	0.0095	3.00	0.0033
0.10	0.0505	0.36	0.0172	0.66	0.0176	1.45	0.0093	3.10	0.0030
0.11	0.0501	0.37	0.0164	0.68	0.0177	1.50	0.0090	3.20	0.0028
0.12	0.0581	0.38	0.0155	0.70	0.0177	1.55	0.0087	3.30	0.0026

0.13	0.0658	0.39	0.0145	0.72	0.0176	1.60	0.0084	3.40	0.0024
0.14	0.0705	0.40	0.0139	0.74	0.0174	1.65	0.0080	3.50	0.0022
0.15	0.0605	0.41	0.0139	0.76	0.0172	1.70	0.0078	3.60	0.0021
0.16	0.0468	0.42	0.0140	0.78	0.0170	1.75	0.0077	3.70	0.0019
0.17	0.0424	0.43	0.0146	0.80	0.0168	1.80	0.0077	3.80	0.0018
0.18	0.0448	0.44	0.0153	0.82	0.0160	1.85	0.0078	3.90	0.0017
0.19	0.0491	0.45	0.0160	0.84	0.0157	1.90	0.0076	4.00	0.0016
0.20	0.0542	0.46	0.0166	0.86	0.0153	1.95	0.0071		
0.21	0.0582	0.47	0.0170	0.88	0.0149	2.00	0.0069		
0.00	0.0221	0.26	0.0447	0.52	0.0176	0.98	0.0135	2.25	0.0065
0.01	0.0221	0.27	0.0391	0.53	0.0175	1.00	0.0134	2.30	0.0062
0.02	0.0221	0.28	0.0341	0.54	0.0173	1.05	0.0129	2.35	0.0060
0.03	0.0231	0.29	0.0306	0.55	0.0169	1.10	0.0124	2.40	0.0057



- **Spettro normalizzato di risposta elastico**

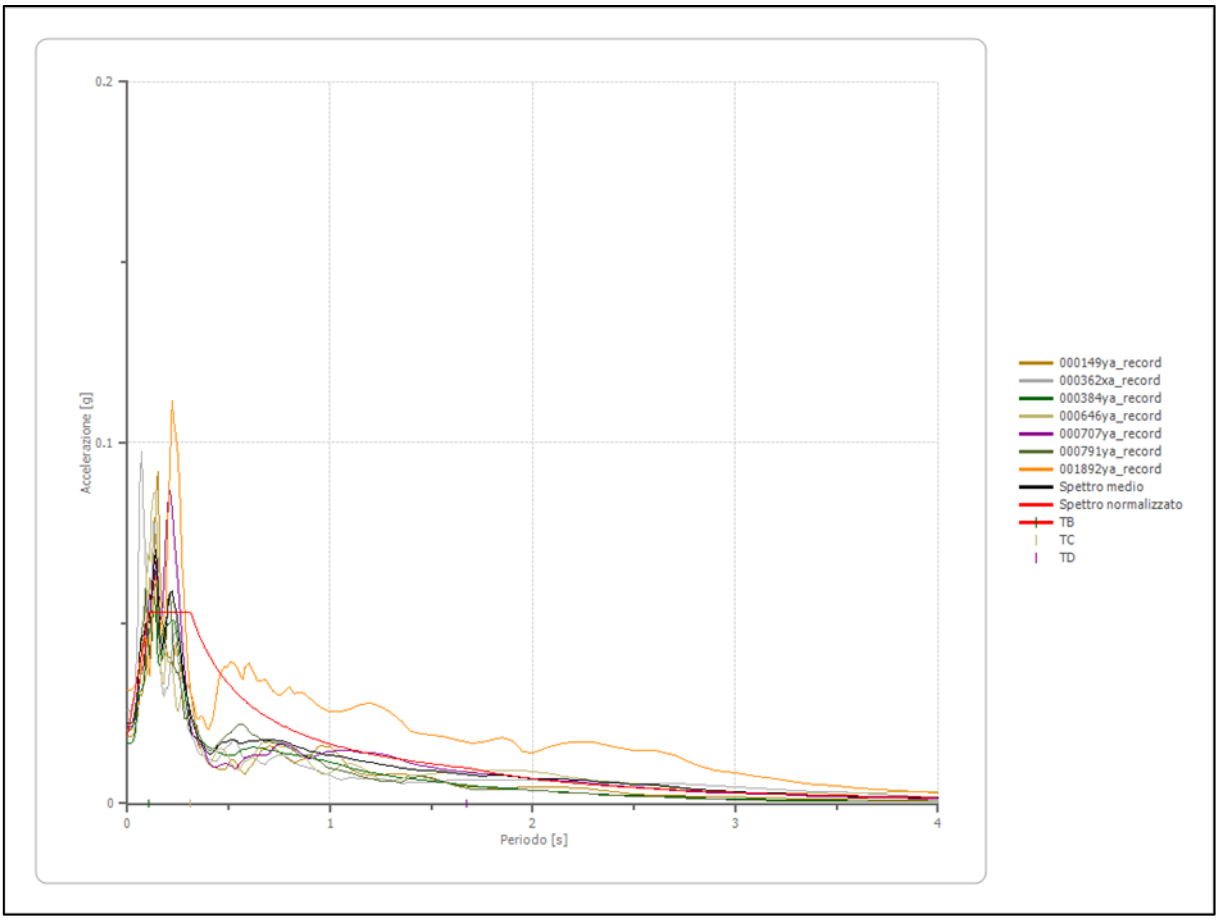
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0188	0.26	0.0530	0.52	0.0318	0.98	0.0168	2.25	0.0073
0.01	0.0221	0.27	0.0530	0.53	0.0312	1.00	0.0165	2.30	0.0072
0.02	0.0254	0.28	0.0530	0.54	0.0306	1.05	0.0157	2.35	0.0070
0.03	0.0287	0.29	0.0530	0.55	0.0300	1.10	0.0150	2.40	0.0069
0.04	0.0320	0.30	0.0530	0.56	0.0295	1.15	0.0144	2.50	0.0066
0.05	0.0353	0.31	0.0530	0.57	0.0290	1.20	0.0138	2.60	0.0064
0.06	0.0386	0.32	0.0516	0.58	0.0285	1.25	0.0132	2.70	0.0061
0.07	0.0418	0.33	0.0500	0.60	0.0275	1.30	0.0127	2.80	0.0059
0.08	0.0451	0.34	0.0486	0.62	0.0266	1.35	0.0122	2.90	0.0057
0.09	0.0484	0.35	0.0472	0.64	0.0258	1.40	0.0118	3.00	0.0055
0.10	0.0517	0.36	0.0459	0.66	0.0250	1.45	0.0114	3.10	0.0053
0.11	0.0530	0.37	0.0446	0.68	0.0243	1.50	0.0110	3.20	0.0052
0.12	0.0530	0.38	0.0435	0.70	0.0236	1.55	0.0107	3.30	0.0050
0.13	0.0530	0.39	0.0423	0.72	0.0229	1.60	0.0103	3.40	0.0049
0.14	0.0530	0.40	0.0413	0.74	0.0223	1.65	0.0100	3.50	0.0047
0.15	0.0530	0.41	0.0403	0.76	0.0217	1.70	0.0097	3.60	0.0046
0.16	0.0530	0.42	0.0393	0.78	0.0212	1.75	0.0094	3.70	0.0045
0.17	0.0530	0.43	0.0384	0.80	0.0206	1.80	0.0092	3.80	0.0043
0.18	0.0530	0.44	0.0375	0.82	0.0201	1.85	0.0089	3.90	0.0042
0.19	0.0530	0.45	0.0367	0.84	0.0197	1.90	0.0087	4.00	0.0041
0.20	0.0530	0.46	0.0359	0.86	0.0192	1.95	0.0085		
0.21	0.0530	0.47	0.0351	0.88	0.0188	2.00	0.0083		
0.22	0.0530	0.48	0.0344	0.90	0.0183	2.05	0.0081		
0.23	0.0530	0.49	0.0337	0.92	0.0179	2.10	0.0079		
0.24	0.0530	0.50	0.0330	0.94	0.0176	2.15	0.0077		
0.25	0.0530	0.51	0.0324	0.96	0.0172	2.20	0.0075		



- **Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.019	2.810739	--	0.104	0.312	1.675	0.019	0.053	0.942

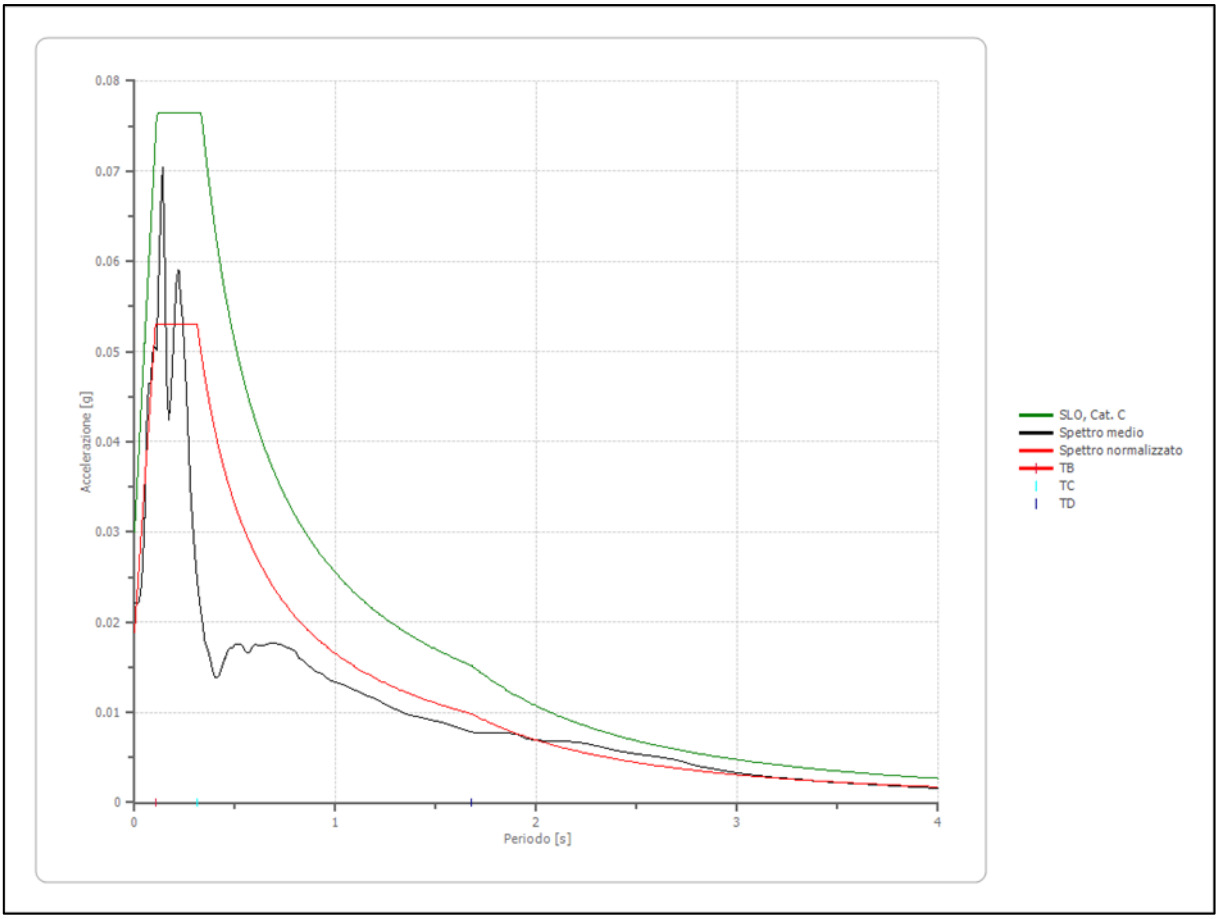
- **Confronto tra gli spettri**



- **Confronto spettro normativa**

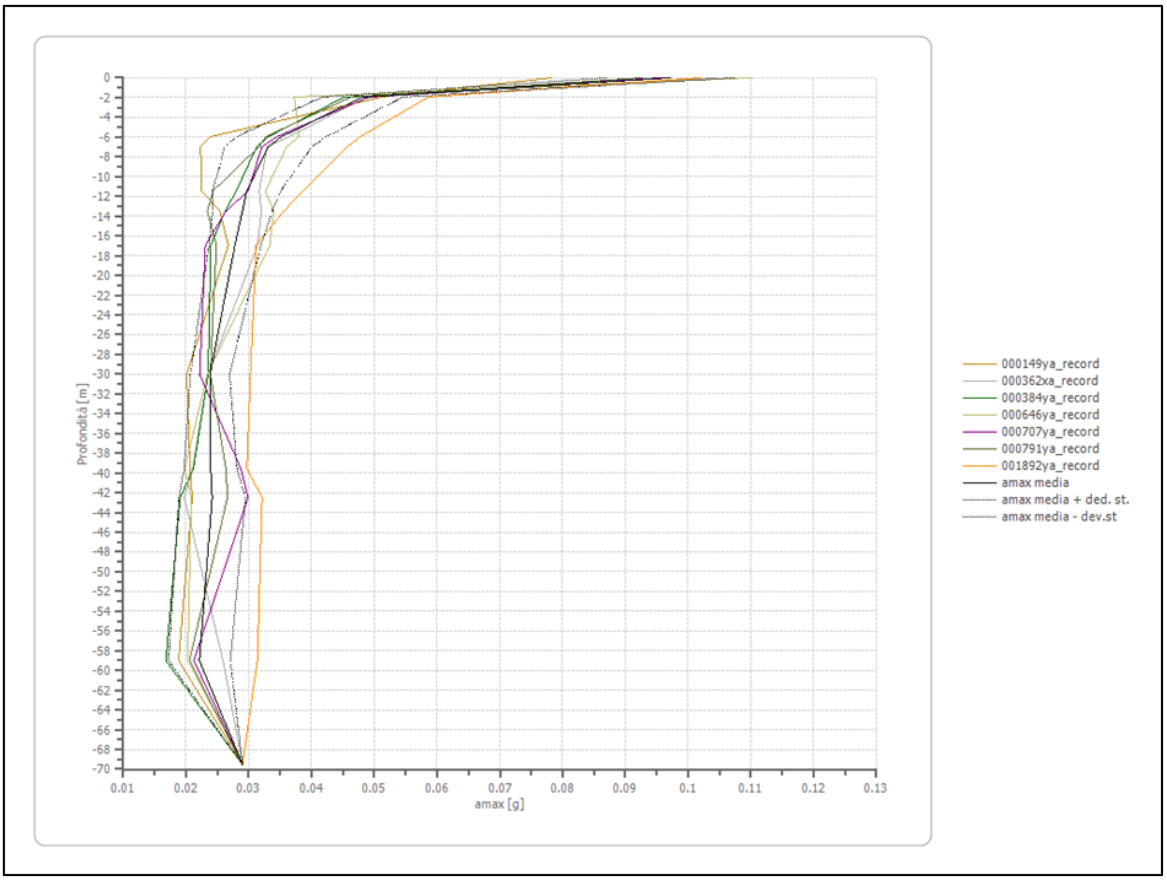
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.020	0.026	0.056	0.070
Fo	2.551	2.555	2.607	2.617
Tc* [s]	0.18	0.199	0.283	0.295
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.85	1.79	1.59	1.57
TB [s]	0.111	0.119	0.150	0.154
TC [s]	0.333	0.356	0.451	0.463
TD [s]	1.680	1.704	1.824	1.880
Se(0) [g]	0.030	0.039	0.084	0.105
Se(TB) [g]	0.077	0.100	0.219	0.275


0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
Accelerazione [g]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
SLO, Cat. C
Spettro medio
Spettro normalizzato
TB
TC
TD

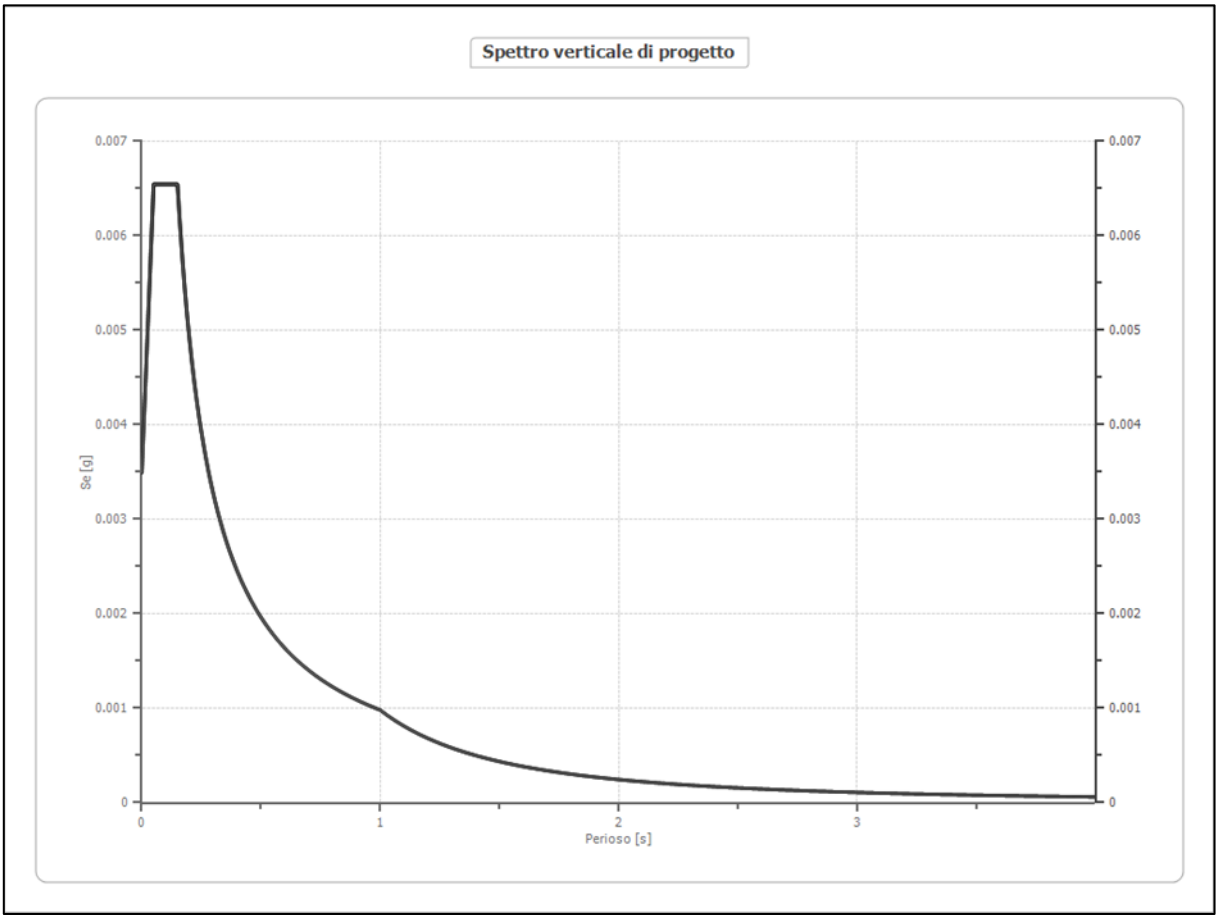
- **Profilo a max**

	0.0 [m]	2.0 [m]	6.0 [m]	7.0 [m]	11.5 [m]	13.5 [m]	17.0 [m]	30.0 [m]	39.5 [m]	42.5 [m]	59.0 [m]	69.5 [m]
000149ya_record [g]	0.078	0.051	0.024	0.022	0.023	0.025	0.027	0.020	0.021	0.021	0.019	0.029
000362xa_record [g]	0.104	0.049	0.036	0.033	0.032	0.032	0.031	0.024	0.021	0.020	0.026	0.029
000384ya_record [g]	0.097	0.045	0.033	0.031	0.028	0.026	0.024	0.024	0.021	0.019	0.017	0.029
000646ya_record [g]	0.110	0.037	0.038	0.036	0.033	0.034	0.033	0.023	0.020	0.021	0.020	0.029
000707ya_record [g]	0.096	0.049	0.034	0.032	0.030	0.026	0.023	0.022	0.029	0.030	0.021	0.029
000791ya_record [g]	0.093	0.046	0.033	0.032	0.024	0.023	0.025	0.024	0.026	0.027	0.021	0.029
001892ya_record [g]	0.102	0.059	0.048	0.046	0.039	0.036	0.031	0.030	0.030	0.032	0.031	0.029
media [g]	0.097	0.048	0.035	0.033	0.030	0.029	0.028	0.024	0.024	0.024	0.022	0.029
Dev. St. [g]	0.010	0.006	0.007	0.007	0.005	0.005	0.004	0.003	0.004	0.005	0.005	0.000



- **Spettro verticale di progetto**

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.019	2.811	0.150	0.521	1.5	0.050	0.150	1.000	0.003	0.007



9.7.3 MODELLO REALIZZATO CON GLI ACCELEROGRAMMI ALLO SLD

Accelerogrammi importati da Rexel V3.5

Nelle immagini seguenti si riportano gli accelerogrammi trasportati da rexel v3.5.

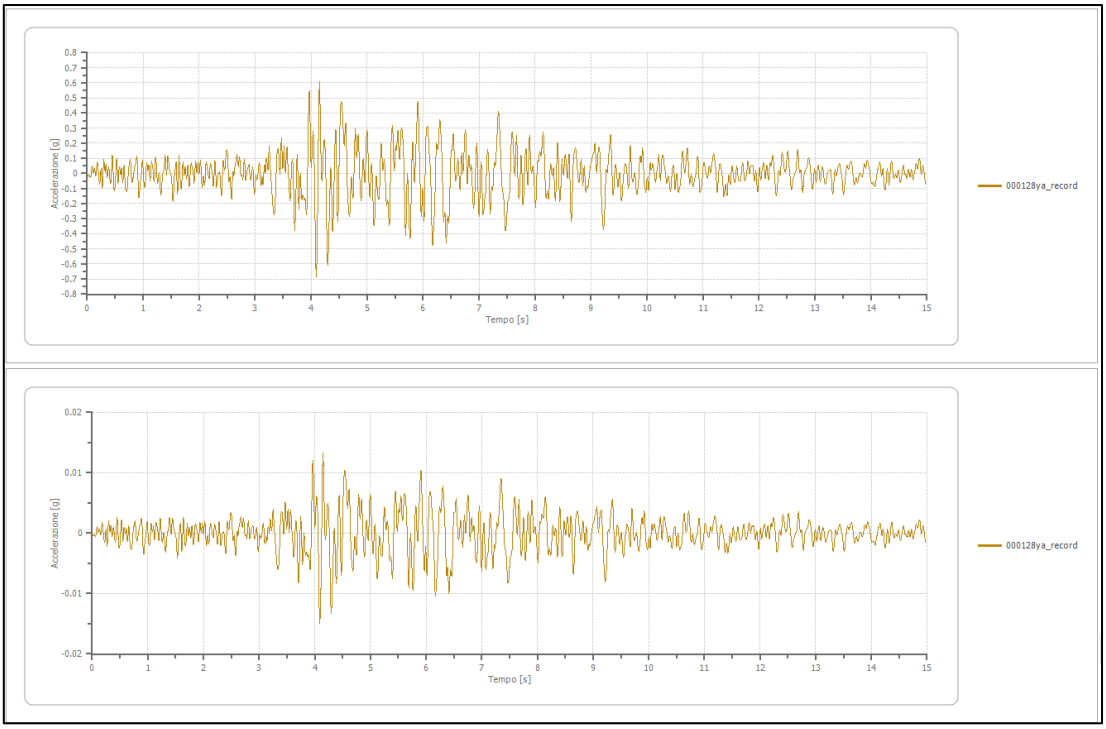


Figura 48: Accelerogramma 000128ya_record.

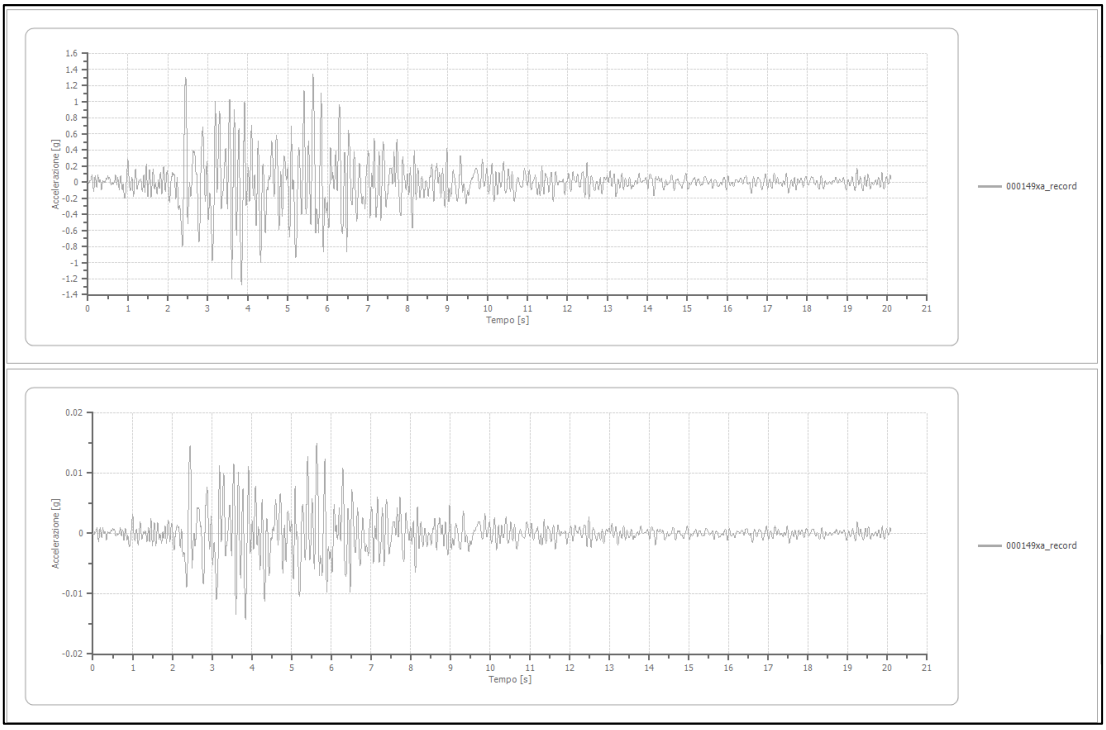


Figura 49: Accelerogramma 000149ya_record.

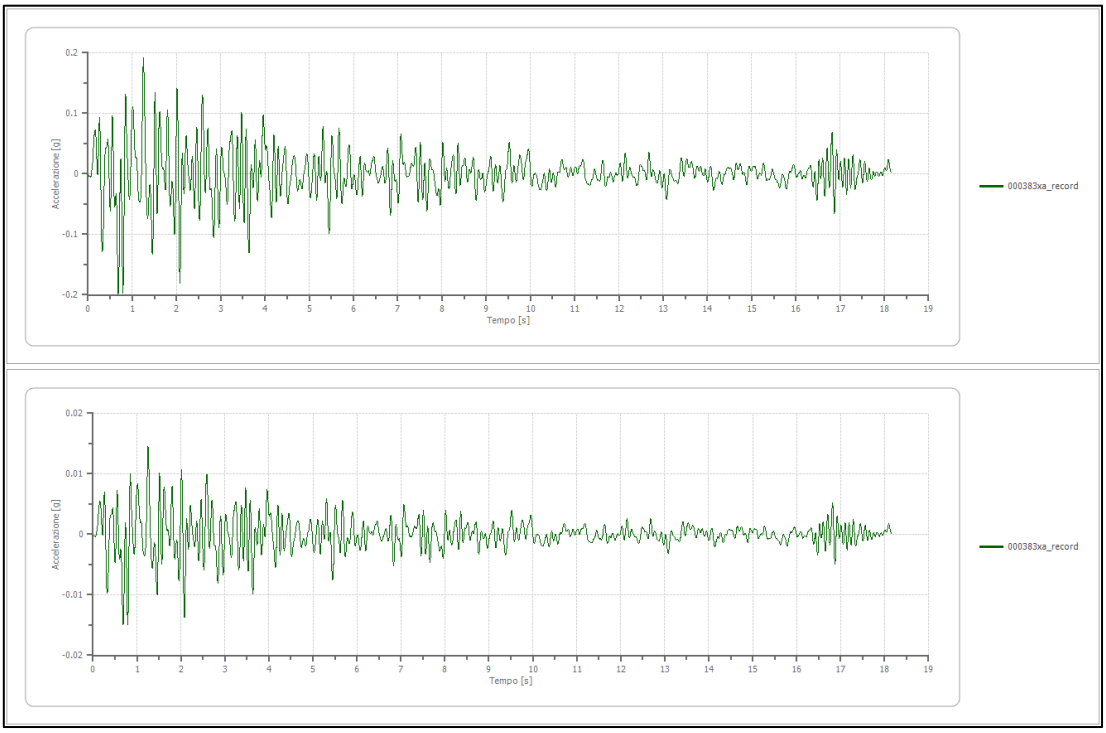


Figura 50: Accelerogramma 000383xa_record.

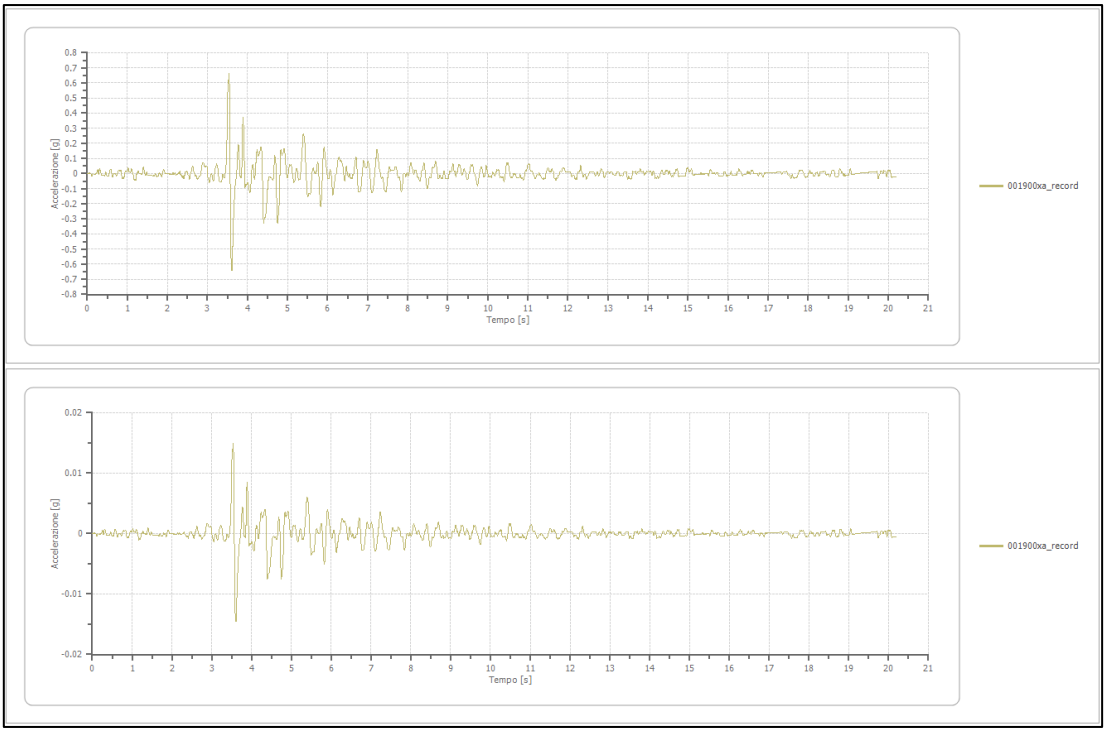


Figura 51: Accelerogramma 001900xa_record.

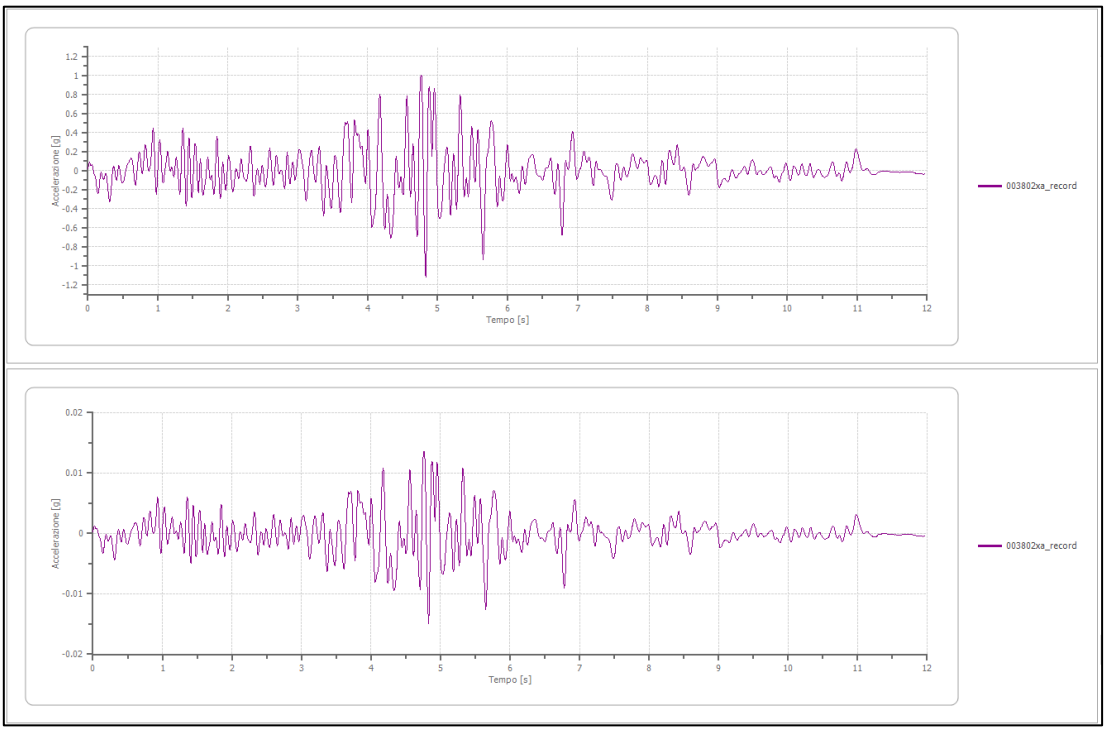


Figura 52: Accelerogramma 003802xa_record.

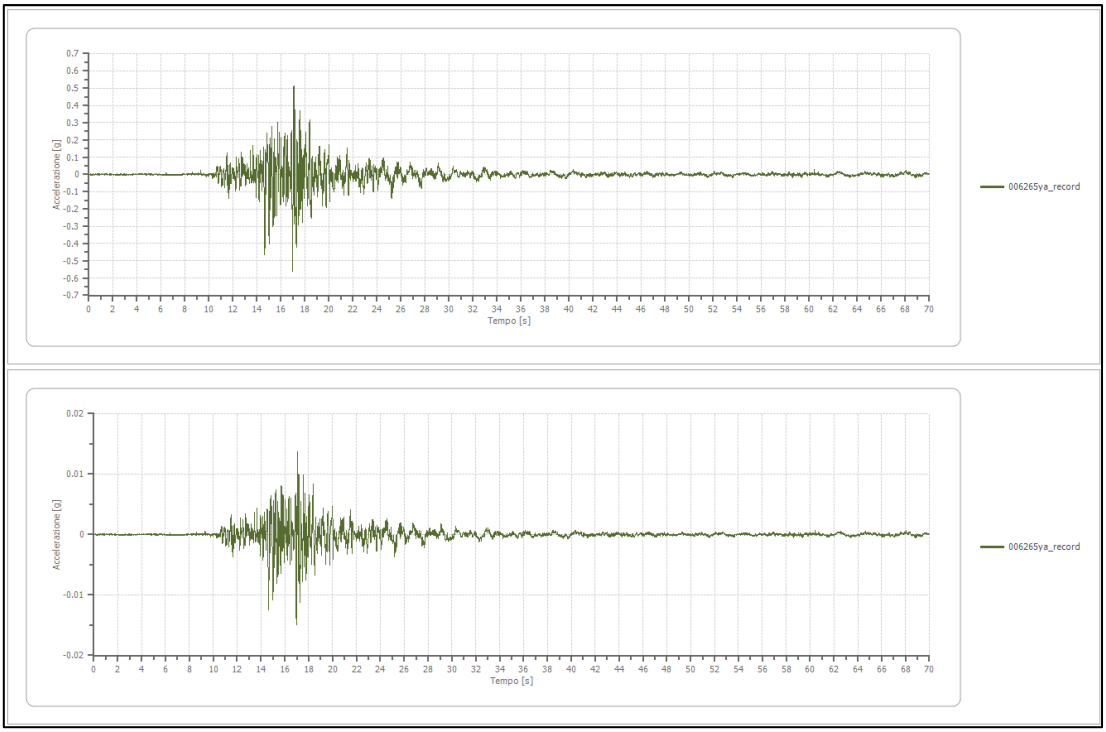


Figura 53: Accelerogramma 006265xa_record.

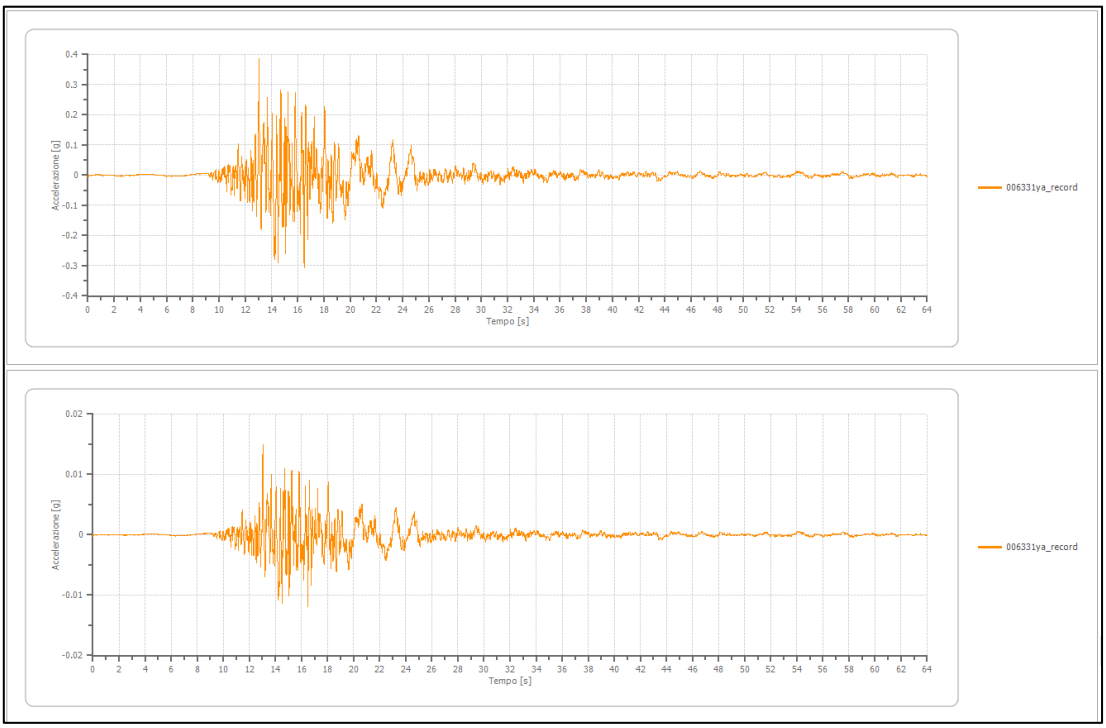


Figura 54: Accelerogramma 006331ya_record.

Risultati del modello

- **Elaborazione**

Numero di iterazioni 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

Massimo errore percentuale di convergenza 7.76 E-05

- **Fattori di amplificazione ICMS 2018**

Tai	0.120 [s]
Tvi	2.600 [s]
Tao	0.210 [s]
Tvo	2.700 [s]
Sami	1.281 [m/s²]
Svmi	0.053 [m/s]
Samo	0.799 [m/s²]
Svmo	0.048 [m/s]
Fa	**0.624 [-]**
Fv	**0.919 [-]**
TB	0.127 [s]
TC	0.380 [s]
TD	1.710 [s]
SA(0)	0.027 [g]
SA(TB)	0.081 [g]

I **fattori di amplificazione** sono così determinati:

1) Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TAi e dello spettro medio di output TAo;

2) Si ricavano i valori medi degli spettri di input (SAm,i) e di output (SAm,o) nell'intorno di TAi e di TAo come

$$SA_m = \frac{1}{TA}\int_{0.5TA}^{1.5TA} SA\ (T)dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3) Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T)\frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4) Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV}\int_{0.8TV}^{1.2TV} SV\ (T)dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio pi pseudovelocità di output.

5) Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6) Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettro normalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i}FV}{SA_{m,i}FA}$$

Periodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3}T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra TB e TC, ha ordinata pari a SAm,i*FA

Il ramo dello spettro a velocità costante (T>TC) ha ordinate pari a SAm,i*FA*(TC/T)

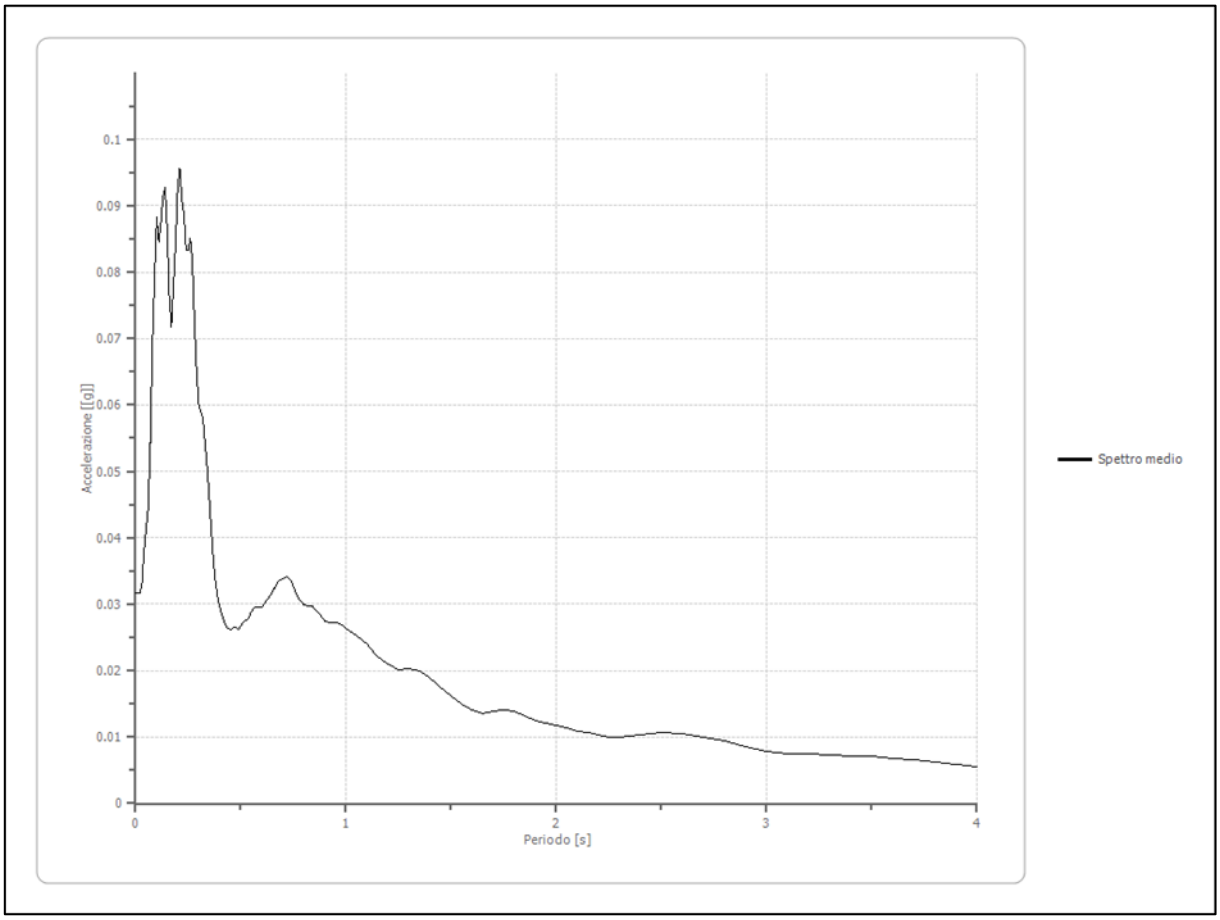
- **Fattori di amplificazione su intensità spettrale**

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.016	0.009	0.200	0.592
0.400	0.800	0.018	0.012	0.500	0.648
0.700	1.100	0.019	0.016	0.636	0.829
0.500	1.500	0.048	0.039	0.333	0.823

- **Spettro medio di risposta elastico**

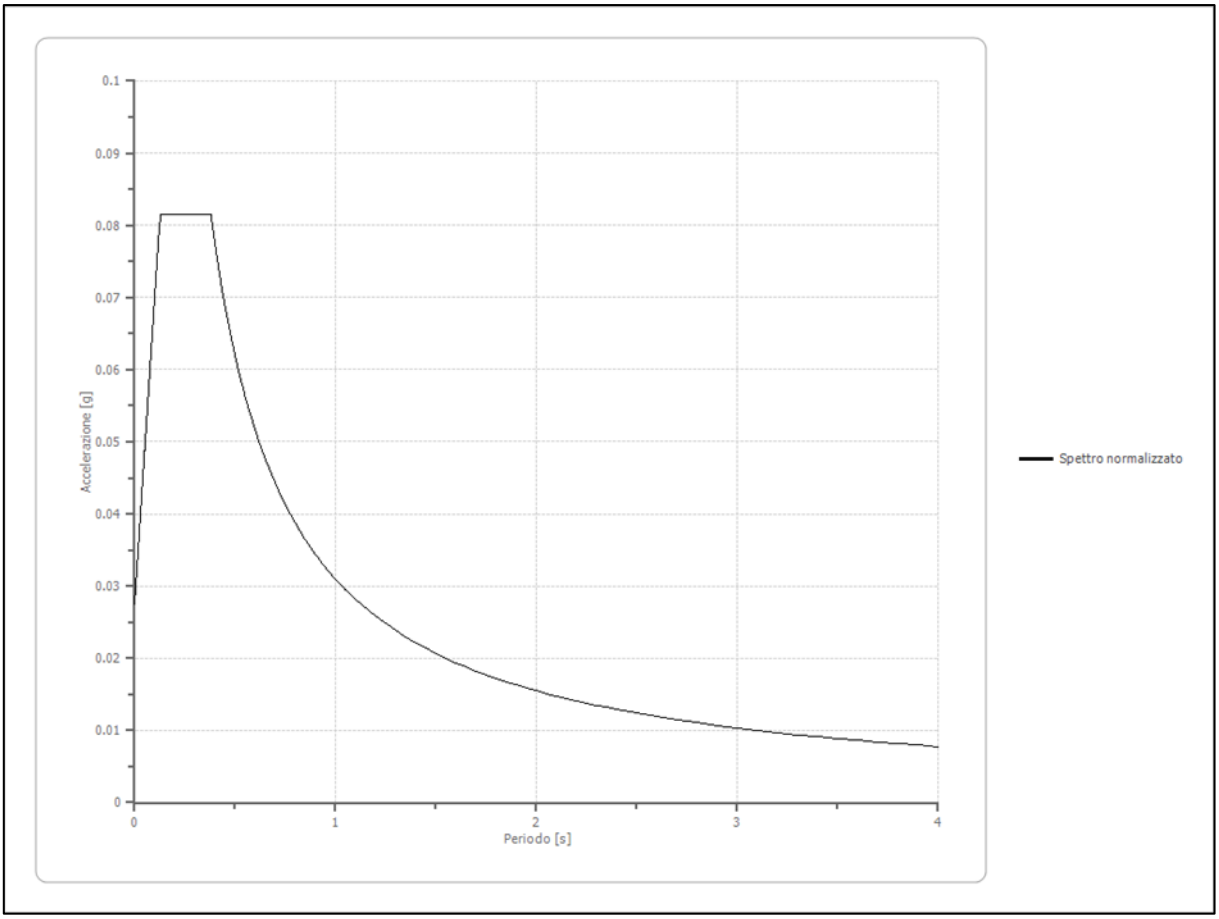
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0317	0.26	0.0851	0.52	0.0276	0.98	0.0268	2.25	0.0100
0.01	0.0318	0.27	0.0817	0.53	0.0276	1.00	0.0264	2.30	0.0100
0.02	0.0317	0.28	0.0725	0.54	0.0282	1.05	0.0253	2.35	0.0102
0.03	0.0329	0.29	0.0653	0.55	0.0289	1.10	0.0240	2.40	0.0104
0.04	0.0377	0.30	0.0602	0.56	0.0294	1.15	0.0220	2.50	0.0107
0.05	0.0414	0.31	0.0589	0.57	0.0295	1.20	0.0209	2.60	0.0105
0.06	0.0444	0.32	0.0581	0.58	0.0295	1.25	0.0201	2.70	0.0100
0.07	0.0543	0.33	0.0544	0.60	0.0295	1.30	0.0202	2.80	0.0094
0.08	0.0692	0.34	0.0508	0.62	0.0304	1.35	0.0199	2.90	0.0086
0.09	0.0792	0.35	0.0462	0.64	0.0313	1.40	0.0188	3.00	0.0079
0.10	0.0883	0.36	0.0410	0.66	0.0324	1.45	0.0175	3.10	0.0075
0.11	0.0846	0.37	0.0364	0.68	0.0335	1.50	0.0161	3.20	0.0074
0.12	0.0872	0.38	0.0332	0.70	0.0338	1.55	0.0150	3.30	0.0073
0.13	0.0914	0.39	0.0311	0.72	0.0341	1.60	0.0141	3.40	0.0072
0.14	0.0928	0.40	0.0296	0.74	0.0334	1.65	0.0135	3.50	0.0071
0.15	0.0866	0.41	0.0284	0.76	0.0318	1.70	0.0139	3.60	0.0068
0.16	0.0765	0.42	0.0274	0.78	0.0306	1.75	0.0140	3.70	0.0066
0.17	0.0718	0.43	0.0267	0.80	0.0300	1.80	0.0139	3.80	0.0063

0.18	0.0778	0.44	0.0264	0.82	0.0297	1.85	0.0132	3.90	0.0059
0.19	0.0843	0.45	0.0262	0.84	0.0297	1.90	0.0124	4.00	0.0055
0.20	0.0925	0.46	0.0263	0.86	0.0291	1.95	0.0121		
0.21	0.0956	0.47	0.0265	0.88	0.0283	2.00	0.0117		
0.22	0.0910	0.48	0.0265	0.90	0.0275	2.05	0.0113		
0.23	0.0887	0.49	0.0261	0.92	0.0272	2.10	0.0109		
0.24	0.0833	0.50	0.0266	0.94	0.0272	2.15	0.0106		
0.25	0.0833	0.51	0.0273	0.96	0.0272	2.20	0.0103		



- **Spettro normalizzato di risposta elastico**

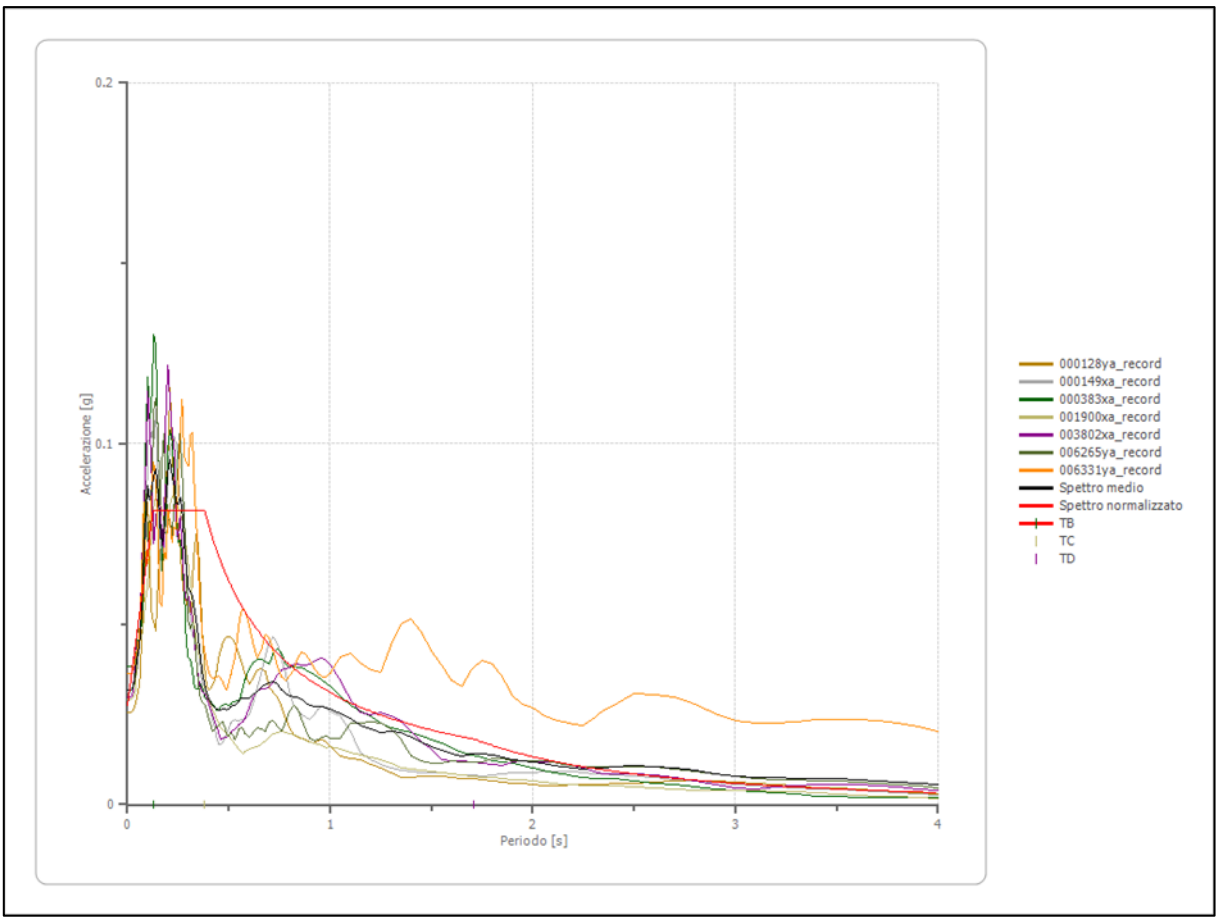
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0275	0.26	0.0815	0.52	0.0596	0.98	0.0316	2.25	0.0138
0.01	0.0318	0.27	0.0815	0.53	0.0585	1.00	0.0310	2.30	0.0135
0.02	0.0360	0.28	0.0815	0.54	0.0574	1.05	0.0295	2.35	0.0132
0.03	0.0403	0.29	0.0815	0.55	0.0564	1.10	0.0282	2.40	0.0129
0.04	0.0445	0.30	0.0815	0.56	0.0554	1.15	0.0270	2.50	0.0124
0.05	0.0488	0.31	0.0815	0.57	0.0544	1.20	0.0258	2.60	0.0119
0.06	0.0530	0.32	0.0815	0.58	0.0534	1.25	0.0248	2.70	0.0115
0.07	0.0573	0.33	0.0815	0.60	0.0517	1.30	0.0238	2.80	0.0111
0.08	0.0616	0.34	0.0815	0.62	0.0500	1.35	0.0230	2.90	0.0107
0.09	0.0658	0.35	0.0815	0.64	0.0484	1.40	0.0221	3.00	0.0103
0.10	0.0701	0.36	0.0815	0.66	0.0470	1.45	0.0214	3.10	0.0100
0.11	0.0743	0.37	0.0815	0.68	0.0456	1.50	0.0207	3.20	0.0097
0.12	0.0786	0.38	0.0815	0.70	0.0443	1.55	0.0200	3.30	0.0094
0.13	0.0815	0.39	0.0795	0.72	0.0431	1.60	0.0194	3.40	0.0091
0.14	0.0815	0.40	0.0775	0.74	0.0419	1.65	0.0188	3.50	0.0089
0.15	0.0815	0.41	0.0756	0.76	0.0408	1.70	0.0182	3.60	0.0086
0.16	0.0815	0.42	0.0738	0.78	0.0397	1.75	0.0177	3.70	0.0084
0.17	0.0815	0.43	0.0721	0.80	0.0387	1.80	0.0172	3.80	0.0082
0.18	0.0815	0.44	0.0705	0.82	0.0378	1.85	0.0168	3.90	0.0079
0.19	0.0815	0.45	0.0689	0.84	0.0369	1.90	0.0163	4.00	0.0077
0.20	0.0815	0.46	0.0674	0.86	0.0360	1.95	0.0159		
0.21	0.0815	0.47	0.0660	0.88	0.0352	2.00	0.0155		
0.22	0.0815	0.48	0.0646	0.90	0.0344	2.05	0.0151		
0.23	0.0815	0.49	0.0633	0.92	0.0337	2.10	0.0148		
0.24	0.0815	0.50	0.0620	0.94	0.0330	2.15	0.0144		
0.25	0.0815	0.51	0.0608	0.96	0.0323	2.20	0.0141		



- **Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.027	2.964311	--	0.127	0.380	1.710	0.027	0.081	1.057

- **Confronto tra gli spettri**

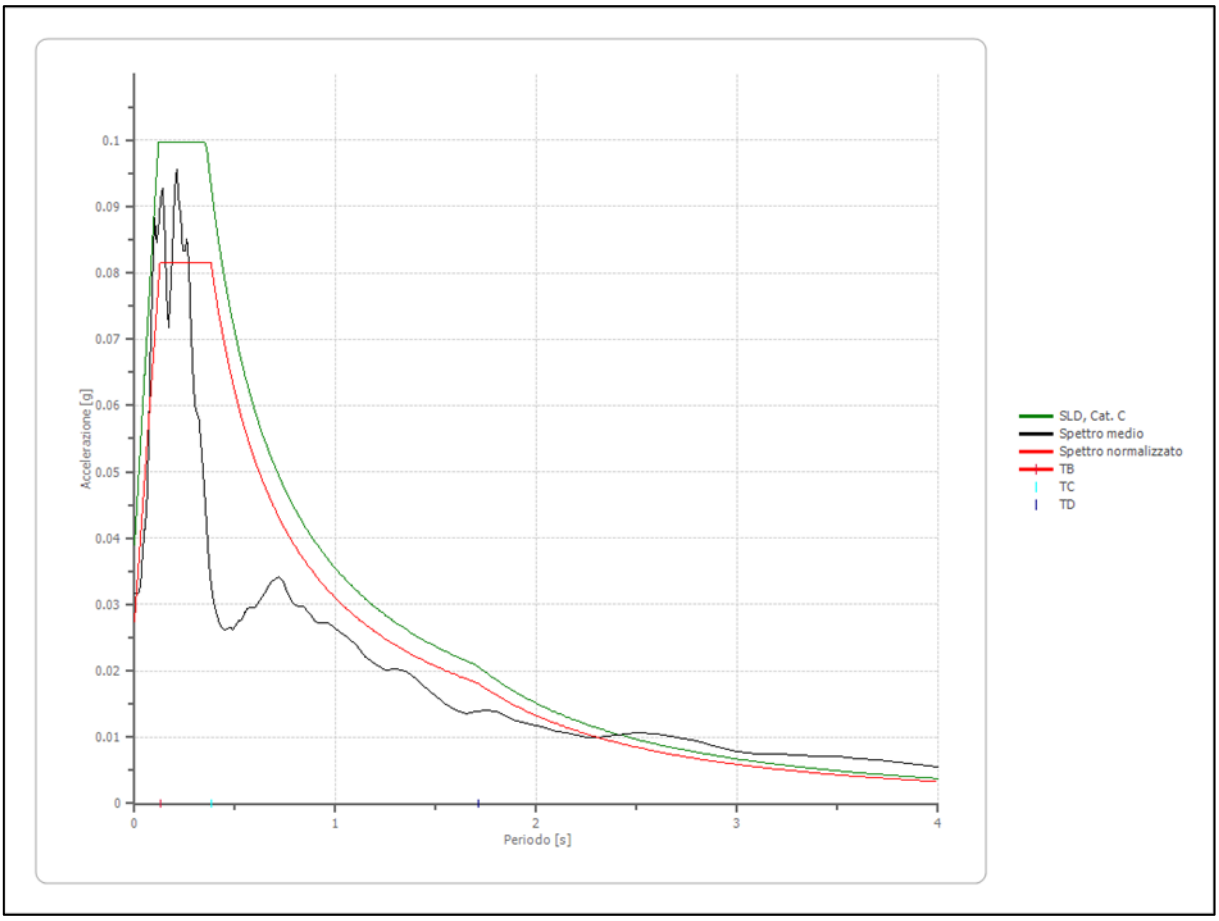


- **Confronto spettro normativa**

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

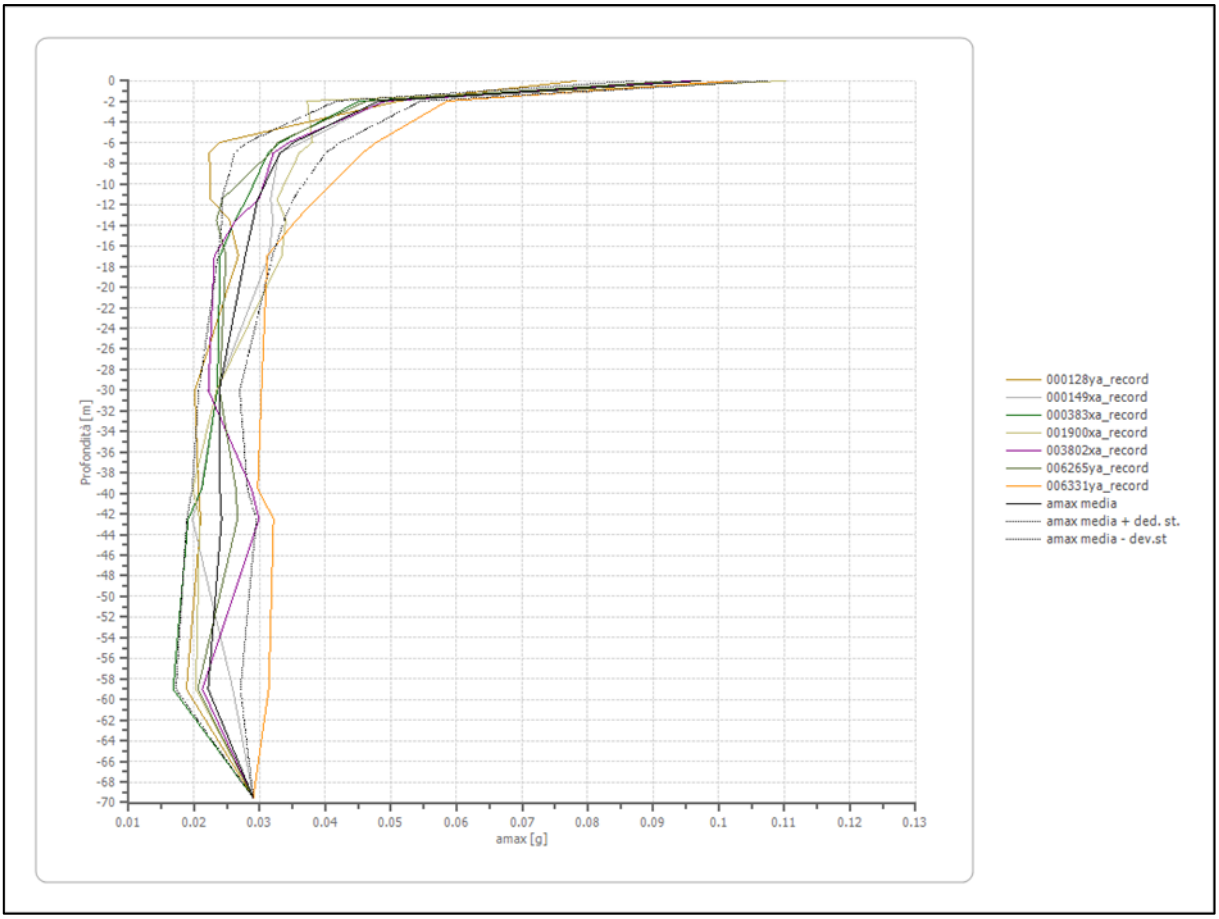
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.020	0.026	0.056	0.070
Fo	2.551	2.555	2.607	2.617
Tc* [s]	0.18	0.199	0.283	0.295
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
St	1.00	1.00	1.00	1.00

Cc	1.85	1.79	1.59	1.57
TB [s]	0.111	0.119	0.150	0.154
TC [s]	0.333	0.356	0.451	0.463
TD [s]	1.680	1.704	1.824	1.880
Se(0) [g]	0.030	0.039	0.084	0.105
Se(TB) [g]	0.077	0.100	0.219	0.275



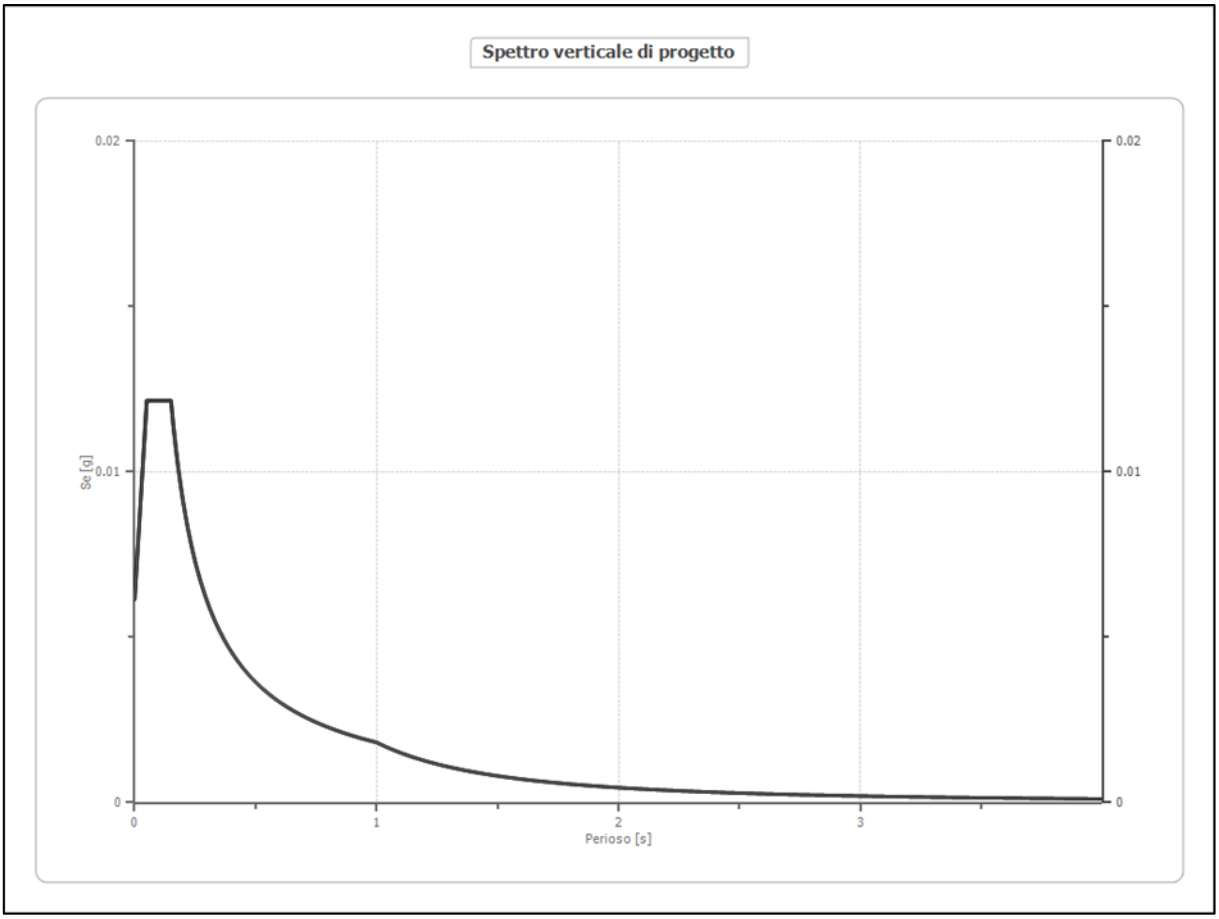
- **Profilo a max**

	0.0 [m]	2.0 [m]	6.0 [m]	7.0 [m]	11.5 [m]	13.5 [m]	17.0 [m]	30.0 [m]	39.5 [m]	42.5 [m]	59.0 [m]	69.5 [m]
000128ya_record [g]	0.078	0.051	0.024	0.022	0.023	0.025	0.027	0.020	0.021	0.021	0.019	0.029
000149xa_record [g]	0.104	0.049	0.036	0.033	0.032	0.032	0.031	0.024	0.021	0.020	0.026	0.029
000383xa_record [g]	0.097	0.045	0.033	0.031	0.028	0.026	0.024	0.024	0.021	0.019	0.017	0.029
001900xa_record [g]	0.110	0.037	0.038	0.036	0.033	0.034	0.033	0.023	0.020	0.021	0.020	0.029
003802xa_record [g]	0.096	0.049	0.034	0.032	0.030	0.026	0.023	0.022	0.029	0.030	0.021	0.029
006265ya_record [g]	0.093	0.046	0.033	0.032	0.024	0.023	0.025	0.024	0.026	0.027	0.021	0.029
006331ya_record [g]	0.102	0.059	0.048	0.046	0.039	0.036	0.031	0.030	0.030	0.032	0.031	0.029
media [g]	0.097	0.048	0.035	0.033	0.030	0.029	0.028	0.024	0.024	0.024	0.022	0.029
Dev. St. [g]	0.010	0.006	0.007	0.007	0.005	0.005	0.004	0.003	0.004	0.005	0.005	0.000



- **Spettro verticale di progetto**

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.027	2.964	0.150	0.664	1.5	0.050	0.150	1.000	0.006	0.012


Spettro verticale di progetto
0.02
0.01
0
Se [g]
0
1
2
3
Perioso [s]

9.7.4 MODELLO REALIZZATO CON GLI ACCELEROGRAMMI ALLO SLV

Accelerogrammi importati da Rexel V3.5

Nelle immagini seguenti si riportano gli accelerogrammi trasportati da rexel v3.5.

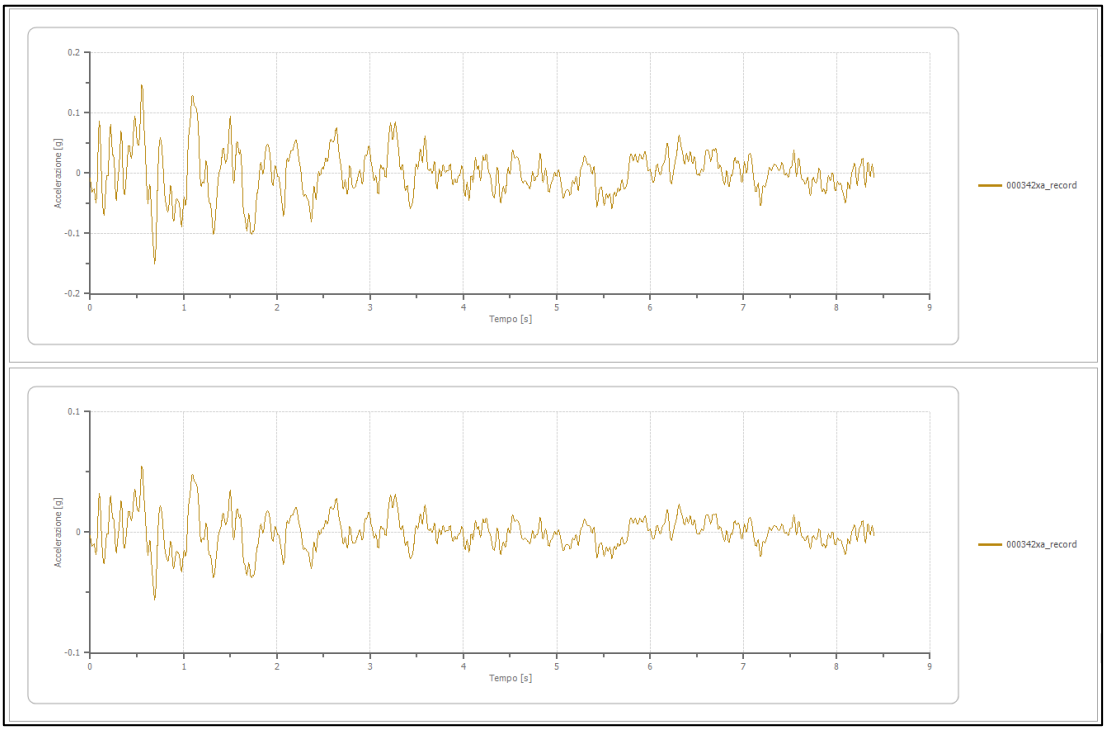


Figura 55: Accelerogramma 000342xa_record.

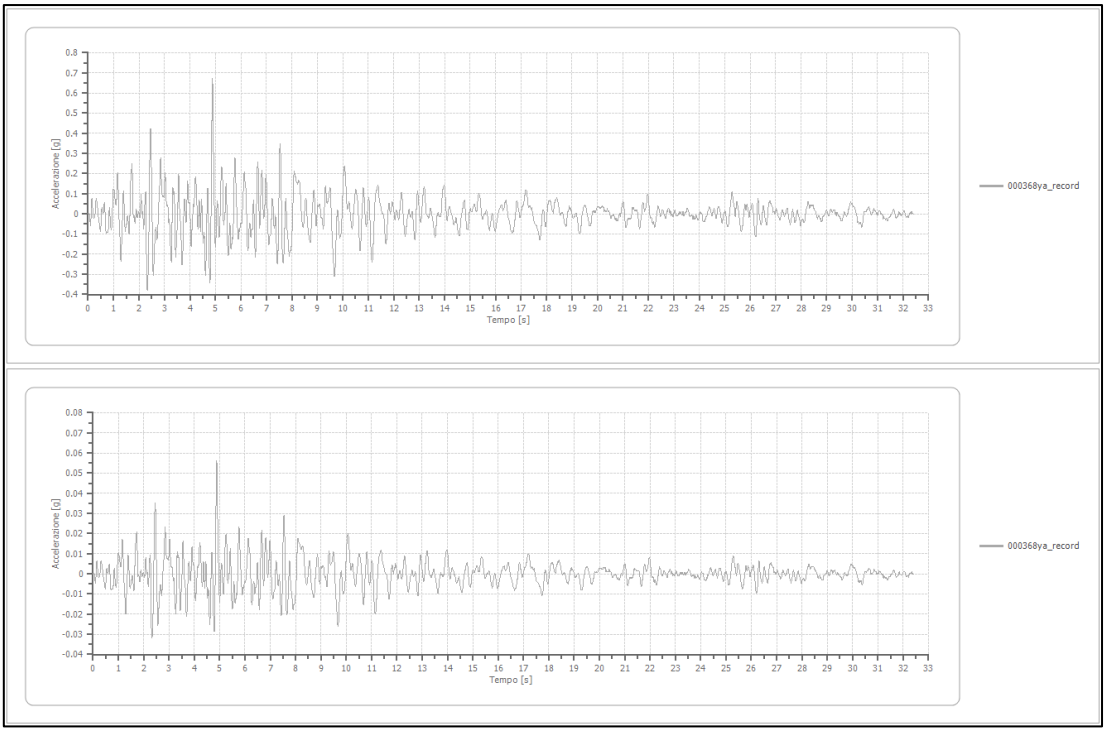


Figura 56: Accelerogramma 000368ya_record.

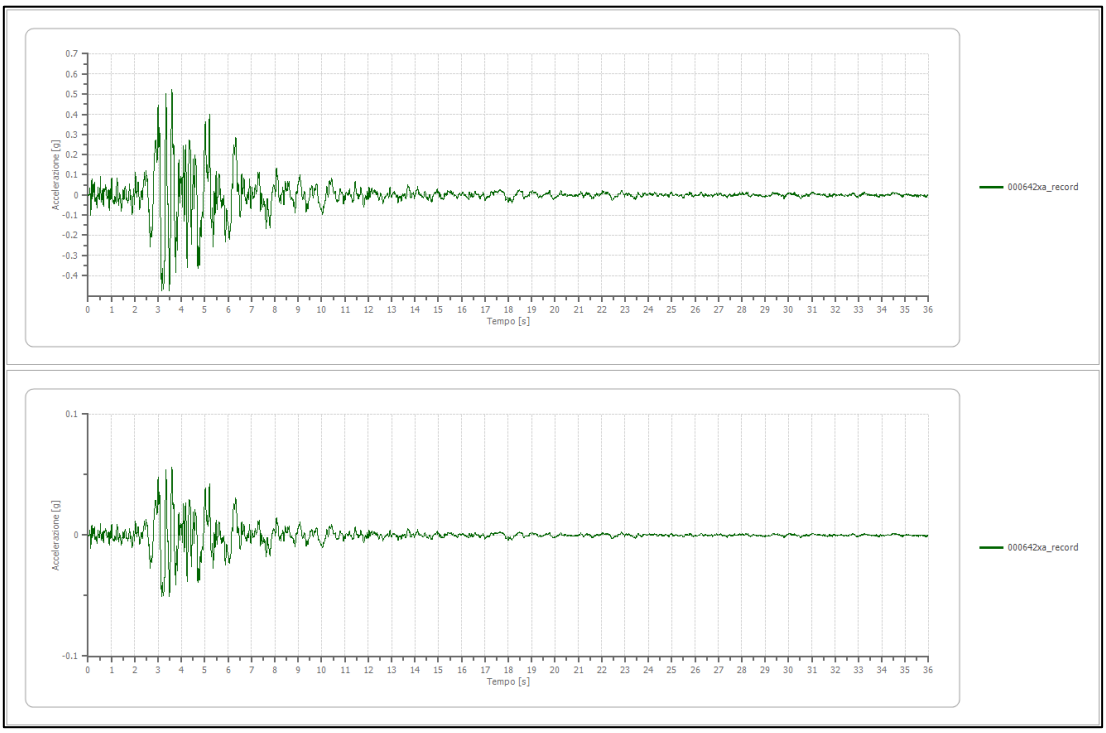


Figura 57: Accelerogramma 000642xa_record.

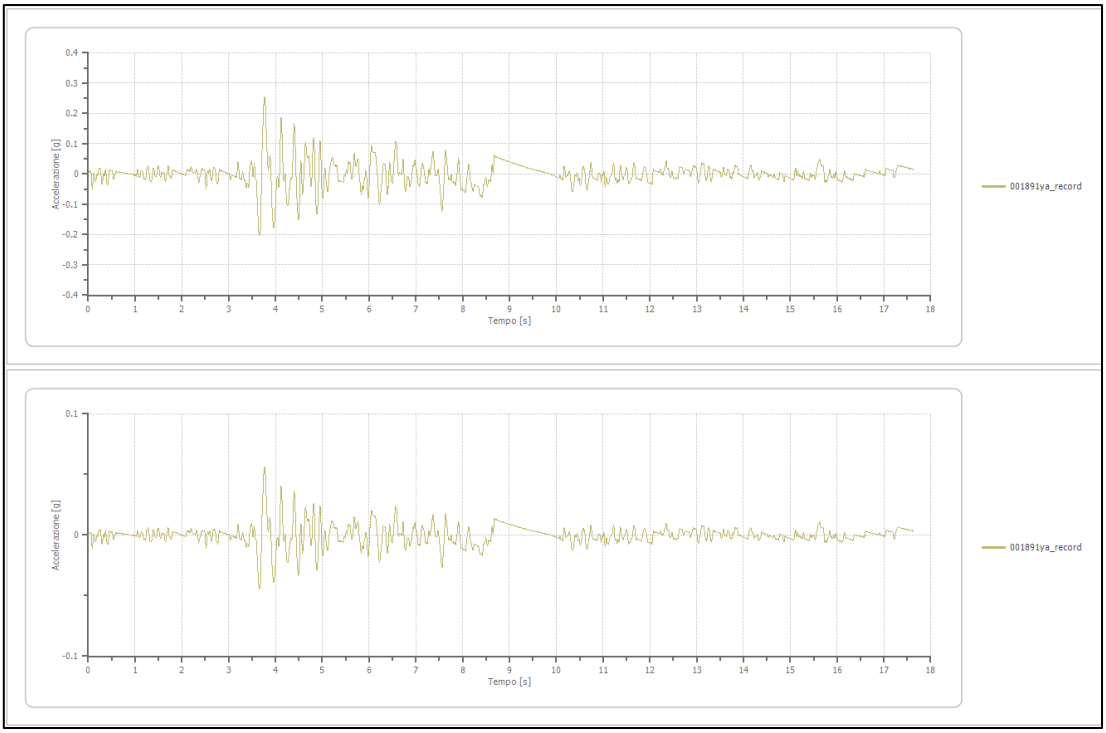


Figura 58: Accelerogramma 001891ya_record.

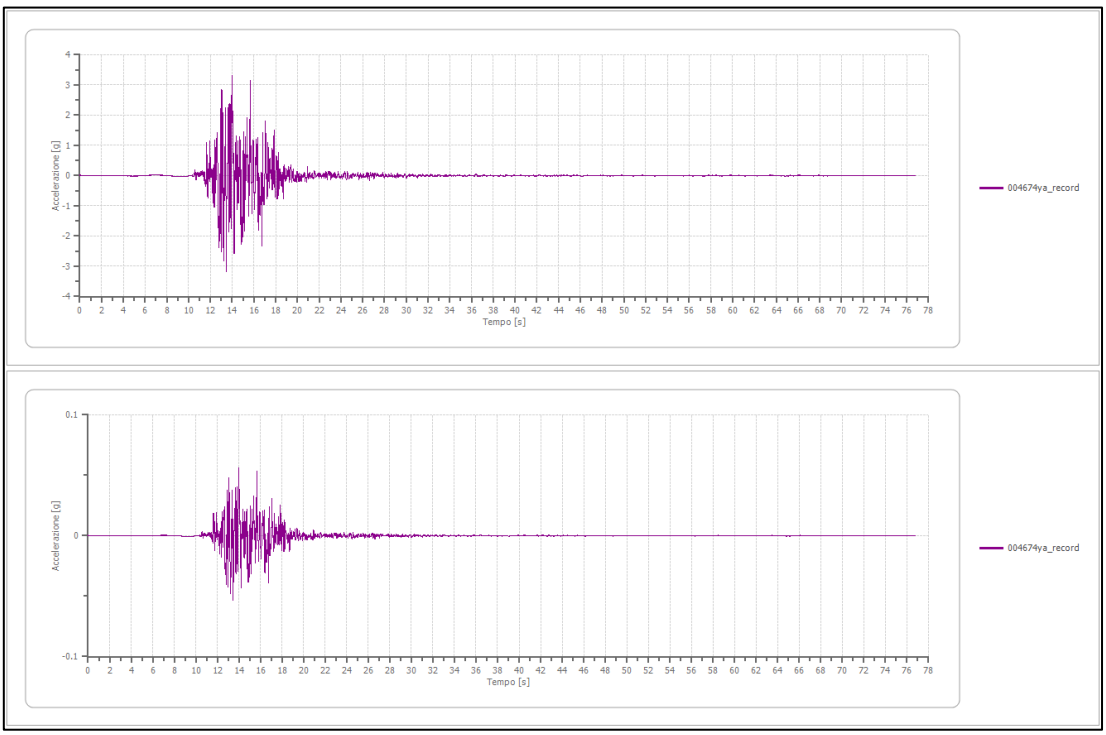


Figura 59: Accelerogramma 004674ya_record.

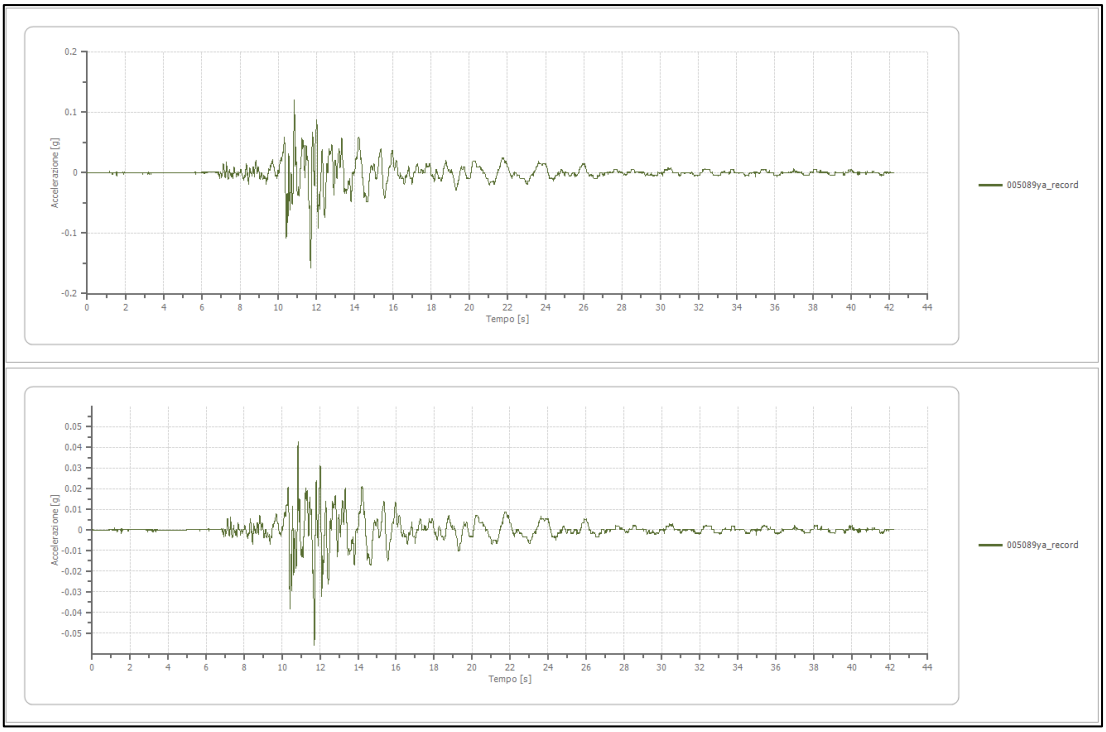


Figura 60: Accelerogramma 005089ya_record.

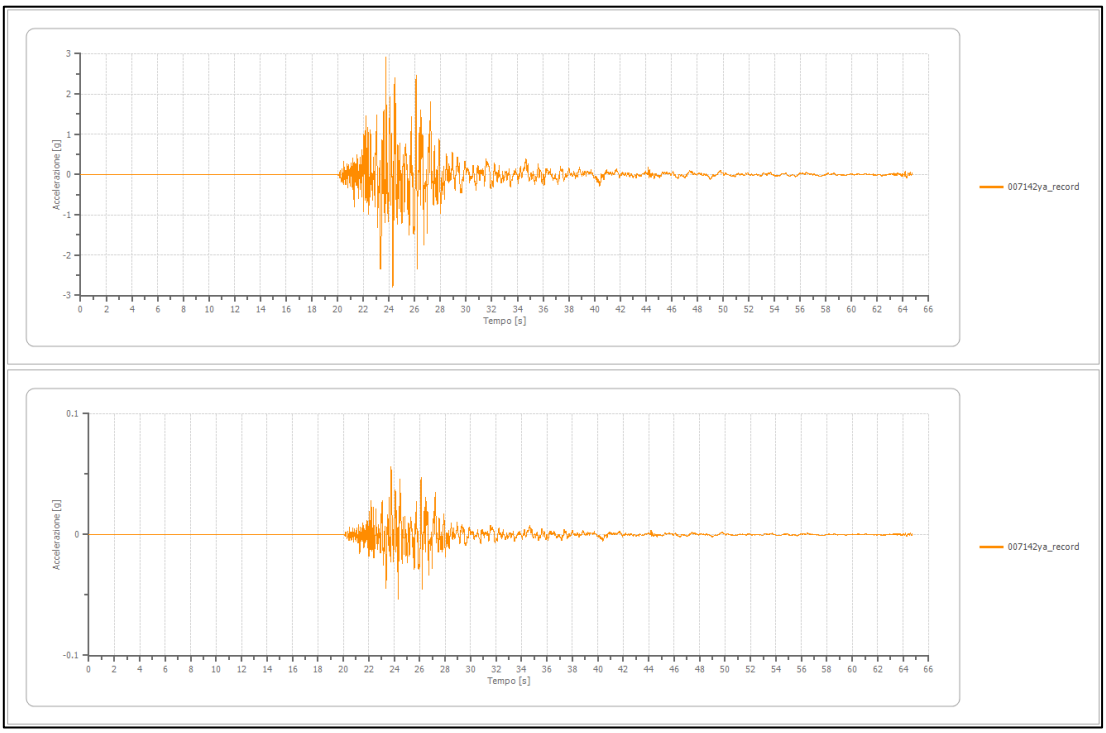


Figura 61: Accelerogramma 007142ya_record.

Risultati del modello

- **Elaborazione**

Numero di iterazioni 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

Massimo errore percentuale di convergenza 7.76 E-05

- **Fattori di amplificazione ICMS 2018**

Tai	0.260 [s]
Tvi	1.850 [s]
Tao	0.250 [s]
Tvo	1.850 [s]
Sami	2.207 [m/s²]
Svmi	0.124 [m/s]
Samo	1.506 [m/s²]
Svmo	0.112 [m/s]
Fa	**0.682 [-]**
Fv	**0.905 [-]**
TB	0.156 [s]
TC	0.469 [s]
TD	1.835 [s]
SA(0)	0.059 [g]
SA(TB)	0.154 [g]

I **fattori di amplificazione** sono così determinati:

1) Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TAi e dello spettro medio di output TAo;

2) Si ricavano i valori medi degli spettri di input (SAm,i) e di output (SAm,o) nell'intorno di TAi e di TAo come

$$SA_m = \frac{1}{TA}\int_{0.5TA}^{1.5TA} SA\ (T)dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3) Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T)\frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4) Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV}\int_{0.8TV}^{1.2TV} SV\ (T)dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio pi pseudovelocità di output.

5) Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6) Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettro normalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i}FV}{SA_{m,i}FA}$$

Periodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3}T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra TB e TC, ha ordinata pari a SAm,i*FA

Il ramo dello spettro a velocità costante (T>TC) ha ordinate pari a SAm,i*FA*(TC/T)

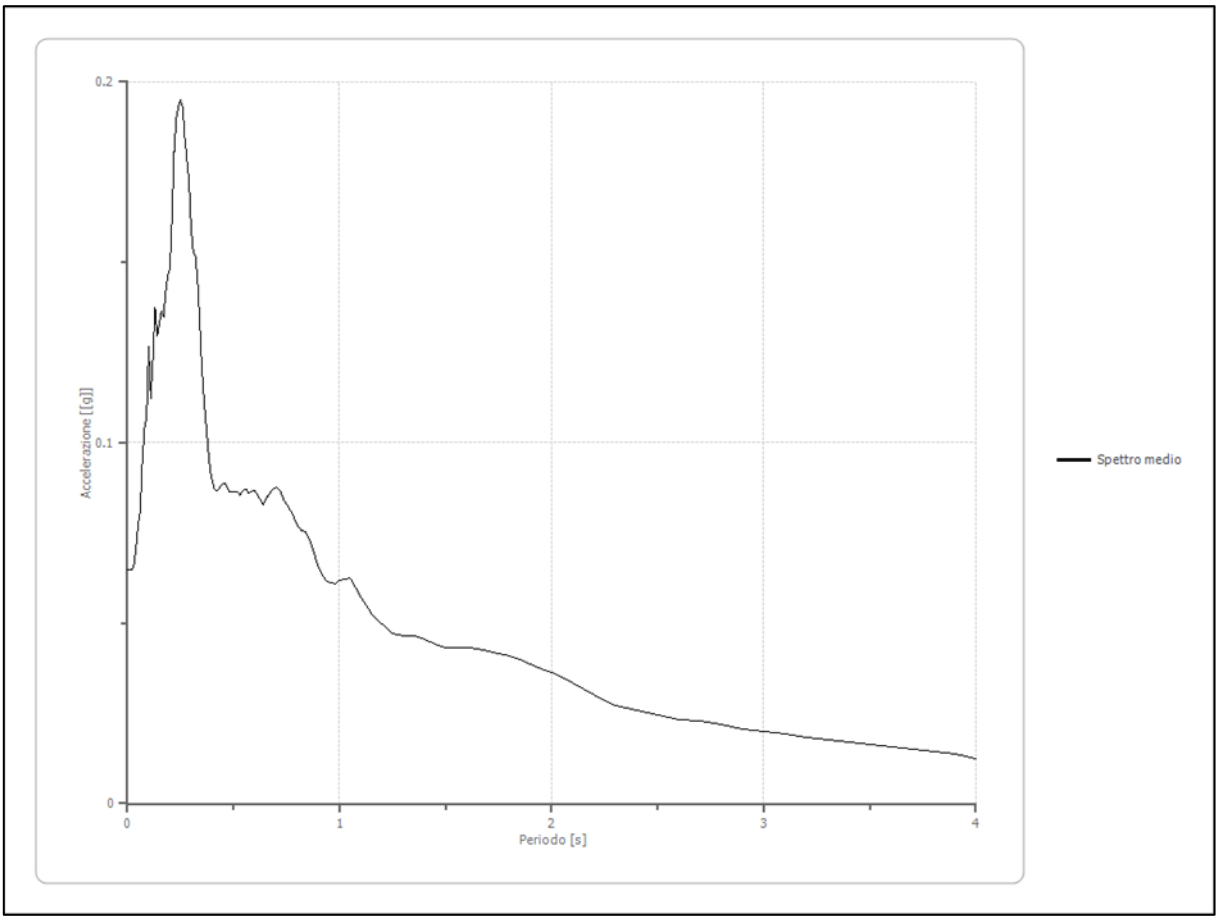
- **<u>Fattori di amplificazione su intensità spettrale</u>**

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.037	0.022	0.200	0.597
0.400	0.800	0.047	0.032	0.500	0.665
0.700	1.100	0.046	0.038	0.636	0.832
0.500	1.500	0.116	0.094	0.333	0.817

- **Spettro medio di risposta elastico**

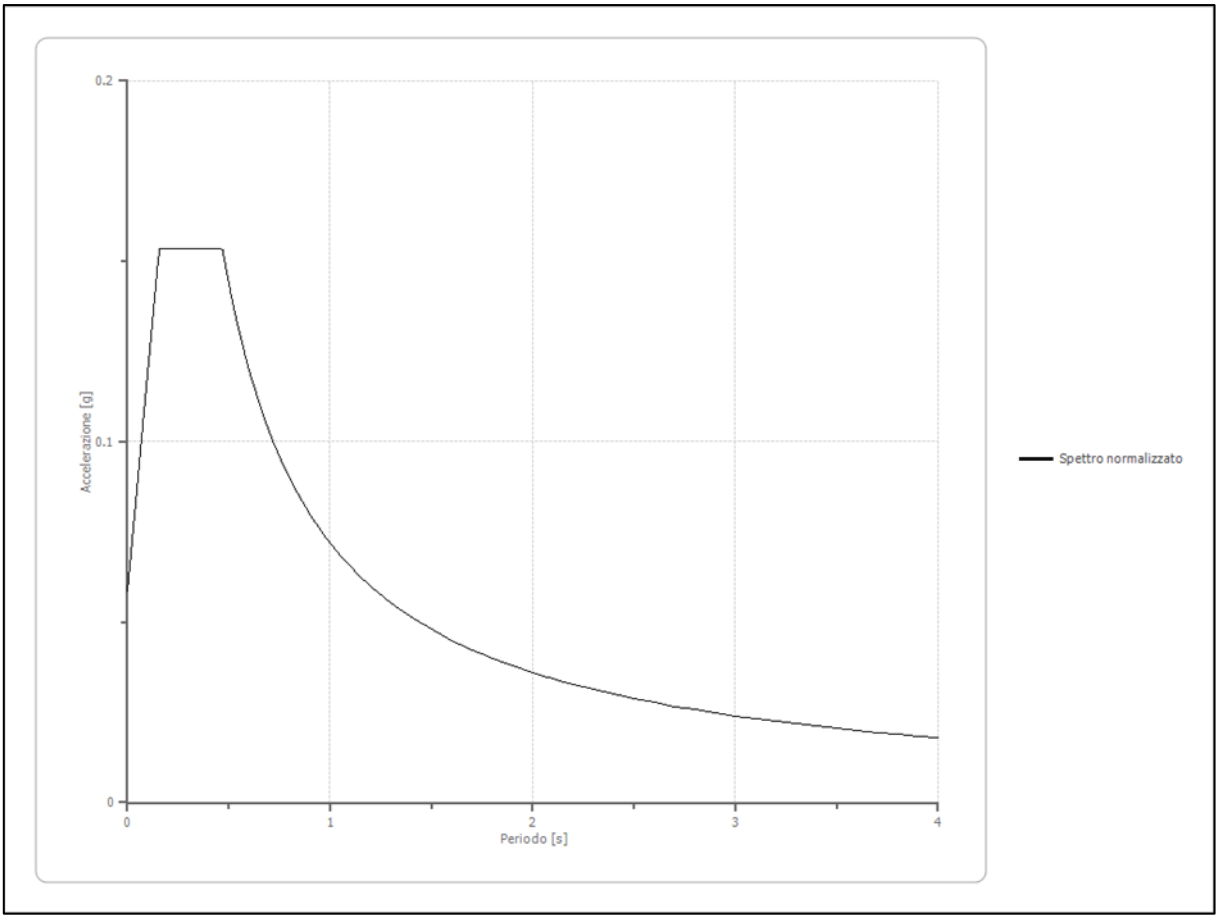
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0648	0.26	0.1930	0.52	0.0863	0.98	0.0607	2.25	0.0284
0.01	0.0648	0.27	0.1845	0.53	0.0853	1.00	0.0620	2.30	0.0272
0.02	0.0648	0.28	0.1787	0.54	0.0863	1.05	0.0626	2.35	0.0265
0.03	0.0662	0.29	0.1724	0.55	0.0869	1.10	0.0573	2.40	0.0259
0.04	0.0706	0.30	0.1594	0.56	0.0871	1.15	0.0528	2.50	0.0246
0.05	0.0772	0.31	0.1528	0.57	0.0862	1.20	0.0497	2.60	0.0234
0.06	0.0812	0.32	0.1519	0.58	0.0865	1.25	0.0470	2.70	0.0228
0.07	0.0950	0.33	0.1453	0.60	0.0867	1.30	0.0465	2.80	0.0219
0.08	0.1041	0.34	0.1342	0.62	0.0847	1.35	0.0463	2.90	0.0207
0.09	0.1072	0.35	0.1210	0.64	0.0827	1.40	0.0455	3.00	0.0200
0.10	0.1266	0.36	0.1130	0.66	0.0852	1.45	0.0442	3.10	0.0193
0.11	0.1124	0.37	0.1054	0.68	0.0867	1.50	0.0433	3.20	0.0185
0.12	0.1233	0.38	0.0981	0.70	0.0878	1.55	0.0433	3.30	0.0177
0.13	0.1375	0.39	0.0922	0.72	0.0867	1.60	0.0432	3.40	0.0170
0.14	0.1297	0.40	0.0892	0.74	0.0838	1.65	0.0430	3.50	0.0163
0.15	0.1330	0.41	0.0872	0.76	0.0821	1.70	0.0422	3.60	0.0156
0.16	0.1364	0.42	0.0868	0.78	0.0800	1.75	0.0415	3.70	0.0151
0.17	0.1350	0.43	0.0870	0.80	0.0771	1.80	0.0410	3.80	0.0145
0.18	0.1418	0.44	0.0881	0.82	0.0757	1.85	0.0400	3.90	0.0136
0.19	0.1463	0.45	0.0888	0.84	0.0753	1.90	0.0387	4.00	0.0125

0.20	0.1481	0.46	0.0887	0.86	0.0730	1.95	0.0373		
0.21	0.1626	0.47	0.0877	0.88	0.0693	2.00	0.0363		
0.22	0.1806	0.48	0.0864	0.90	0.0655	2.05	0.0350		
0.23	0.1902	0.49	0.0863	0.92	0.0633	2.10	0.0333		
0.24	0.1931	0.50	0.0863	0.94	0.0616	2.15	0.0317		
0.25	0.1951	0.51	0.0864	0.96	0.0612	2.20	0.0300		



- **Spettro normalizzato di risposta elastico**

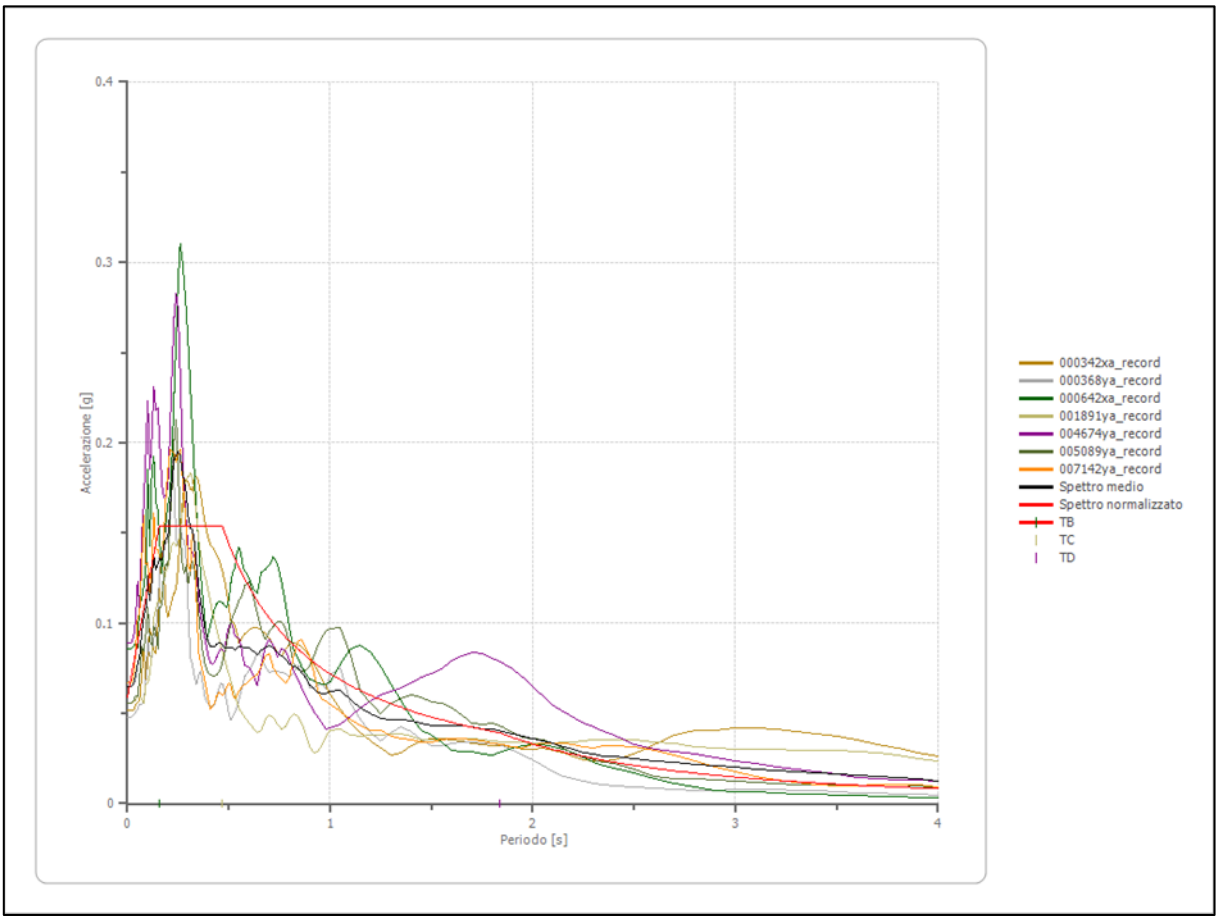
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0587	0.26	0.1535	0.52	0.1384	0.98	0.0734	2.25	0.0320
0.01	0.0648	0.27	0.1535	0.53	0.1358	1.00	0.0720	2.30	0.0313
0.02	0.0708	0.28	0.1535	0.54	0.1333	1.05	0.0685	2.35	0.0306
0.03	0.0769	0.29	0.1535	0.55	0.1309	1.10	0.0654	2.40	0.0300
0.04	0.0830	0.30	0.1535	0.56	0.1285	1.15	0.0626	2.50	0.0288
0.05	0.0890	0.31	0.1535	0.57	0.1263	1.20	0.0600	2.60	0.0277
0.06	0.0951	0.32	0.1535	0.58	0.1241	1.25	0.0576	2.70	0.0267
0.07	0.1012	0.33	0.1535	0.60	0.1199	1.30	0.0554	2.80	0.0257
0.08	0.1073	0.34	0.1535	0.62	0.1161	1.35	0.0533	2.90	0.0248
0.09	0.1133	0.35	0.1535	0.64	0.1125	1.40	0.0514	3.00	0.0240
0.10	0.1194	0.36	0.1535	0.66	0.1090	1.45	0.0496	3.10	0.0232
0.11	0.1255	0.37	0.1535	0.68	0.1058	1.50	0.0480	3.20	0.0225
0.12	0.1315	0.38	0.1535	0.70	0.1028	1.55	0.0464	3.30	0.0218
0.13	0.1376	0.39	0.1535	0.72	0.1000	1.60	0.0450	3.40	0.0212
0.14	0.1437	0.40	0.1535	0.74	0.0973	1.65	0.0436	3.50	0.0206
0.15	0.1497	0.41	0.1535	0.76	0.0947	1.70	0.0423	3.60	0.0200
0.16	0.1535	0.42	0.1535	0.78	0.0923	1.75	0.0411	3.70	0.0195
0.17	0.1535	0.43	0.1535	0.80	0.0900	1.80	0.0400	3.80	0.0189
0.18	0.1535	0.44	0.1535	0.82	0.0878	1.85	0.0389	3.90	0.0185
0.19	0.1535	0.45	0.1535	0.84	0.0857	1.90	0.0379	4.00	0.0180
0.20	0.1535	0.46	0.1535	0.86	0.0837	1.95	0.0369		
0.21	0.1535	0.47	0.1531	0.88	0.0818	2.00	0.0360		
0.22	0.1535	0.48	0.1499	0.90	0.0800	2.05	0.0351		
0.23	0.1535	0.49	0.1469	0.92	0.0782	2.10	0.0343		
0.24	0.1535	0.50	0.1439	0.94	0.0766	2.15	0.0335		
0.25	0.1535	0.51	0.1411	0.96	0.0750	2.20	0.0327		



- **Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.059	2.61599	--	0.156	0.469	1.835	0.059	0.154	1.048

- **Confronto tra gli spettri**

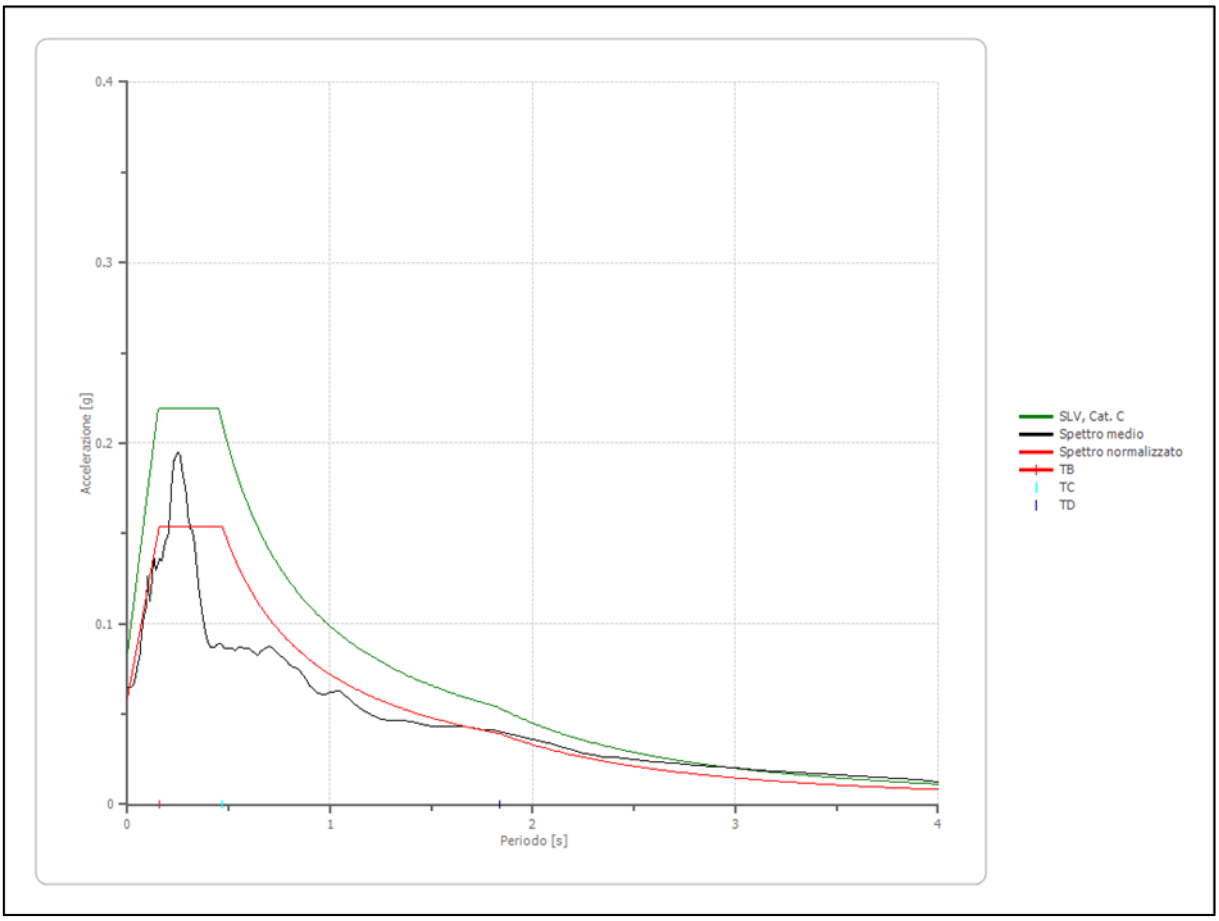


- **Confronto spettro normativa**

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

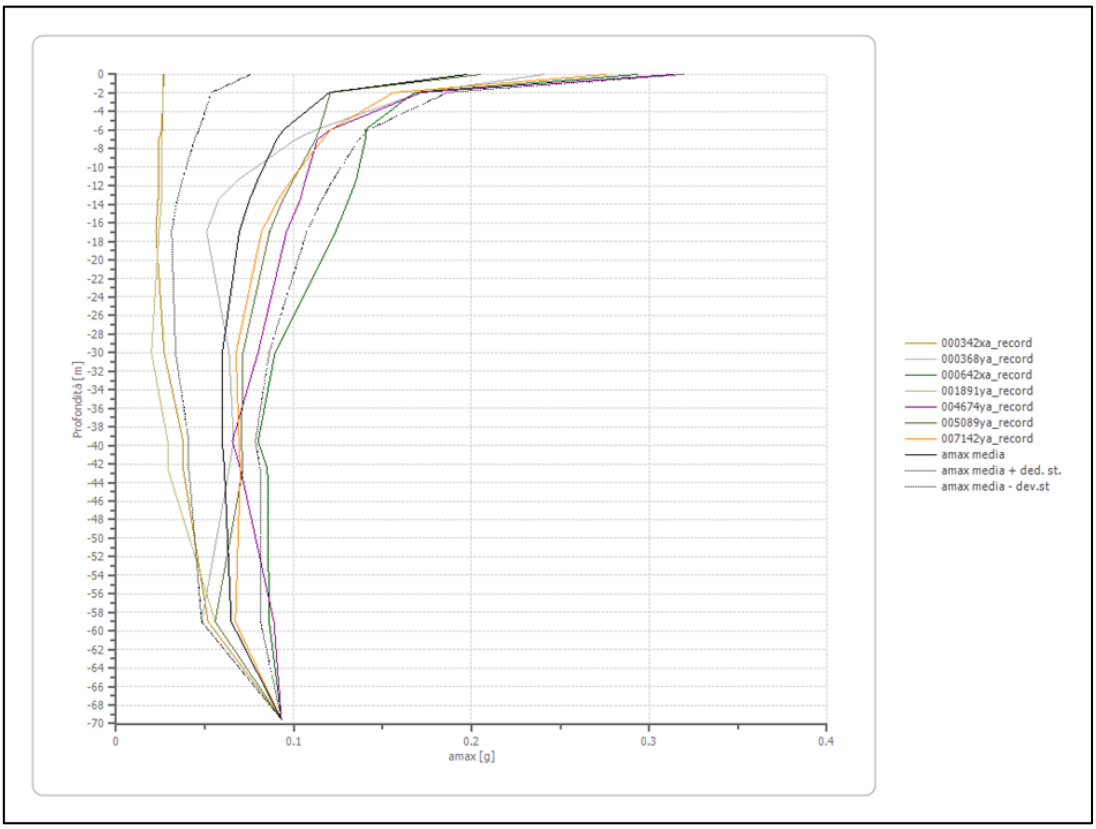
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.020	0.026	0.056	0.070
Fo	2.551	2.555	2.607	2.617
Tc* [s]	0.18	0.199	0.283	0.295
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.85	1.79	1.59	1.57

TB [s]	0.111	0.119	0.150	0.154
TC [s]	0.333	0.356	0.451	0.463
TD [s]	1.680	1.704	1.824	1.880
Se(0) [g]	0.030	0.039	0.084	0.105
Se(TB) [g]	0.077	0.100	0.219	0.275



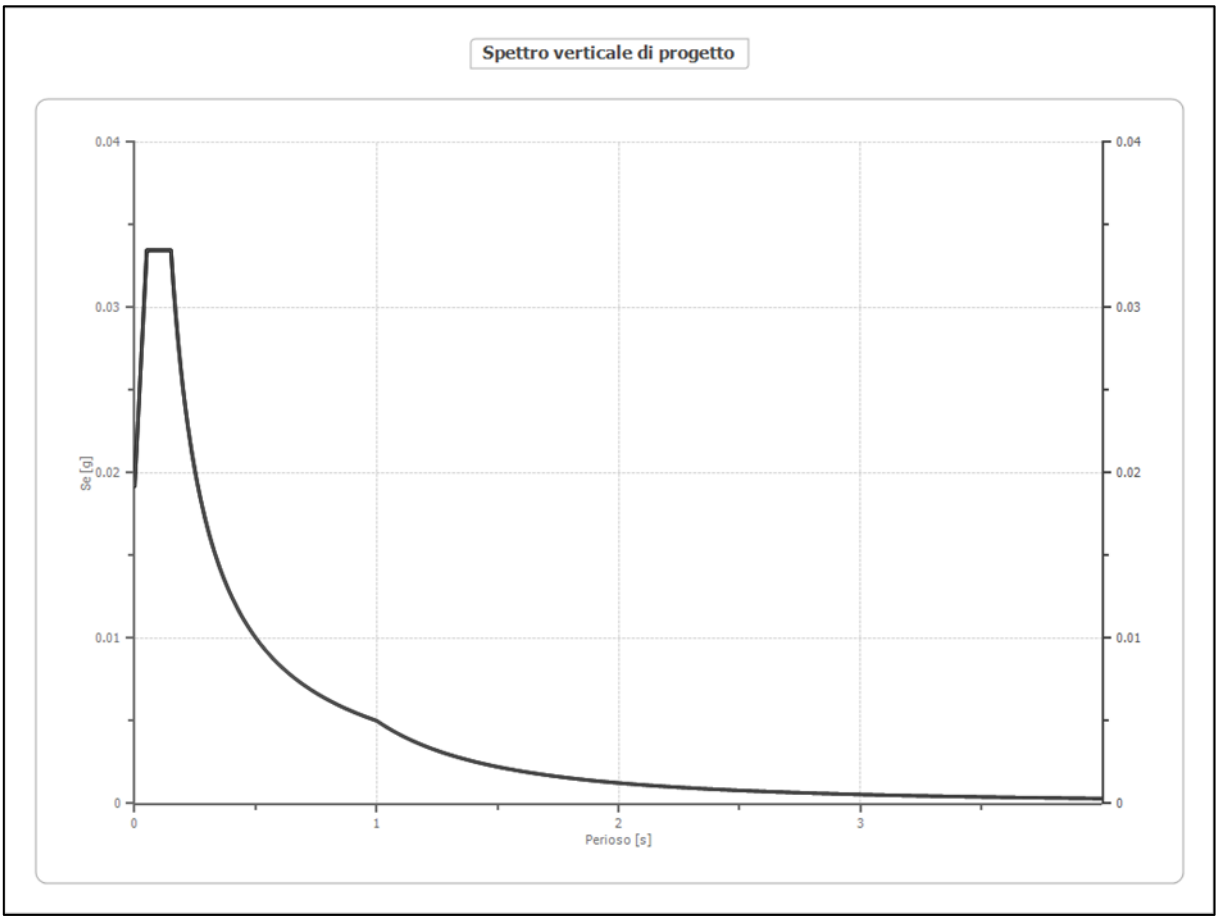
- **Profilo a max**

	0.0 [m]	2.0 [m]	6.0 [m]	7.0 [m]	11.5 [m]	13.5 [m]	17.0 [m]	30.0 [m]	39.5 [m]	42.5 [m]	59.0 [m]	69.5 [m]
000342xa_record [g]	0.027	0.026	0.026	0.024	0.024	0.024	0.022	0.027	0.038	0.038	0.052	0.093
000368ya_record [g]	0.241	0.171	0.113	0.101	0.068	0.058	0.051	0.064	0.066	0.064	0.048	0.093
000642xa_record [g]	0.294	0.168	0.140	0.140	0.135	0.131	0.124	0.089	0.080	0.085	0.086	0.093
001891ya_record [g]	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.024	0.020	0.029	0.029	0.056	0.093
004674ya_record [g]	0.314	0.172	0.121	0.113	0.106	0.104	0.096	0.080	0.065	0.070	0.089	0.093
005089ya_record [g]	0.205	0.121	0.114	0.112	0.099	0.094	0.086	0.071	0.071	0.071	0.056	0.093
007142ya_record [g]	0.275	0.156	0.121	0.116	0.098	0.091	0.082	0.067	0.069	0.070	0.067	0.093
media [g]	0.198	0.120	0.094	0.090	0.079	0.075	0.069	0.060	0.060	0.061	0.065	0.093
Dev. St. [g]	0.122	0.066	0.048	0.046	0.042	0.041	0.038	0.026	0.019	0.020	0.017	0.000



- **Spettro verticale di progetto**

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.059	2.616	0.150	0.856	1.5	0.050	0.150	1.000	0.019	0.033



9.7.5 MODELLO REALIZZATO CON GLI ACCELEROGRAMMI ALLO SLC

Accelerogrammi importati da Rexel V3.5

Nelle immagini seguenti si riportano gli accelerogrammi trasportati da rexel v3.5.

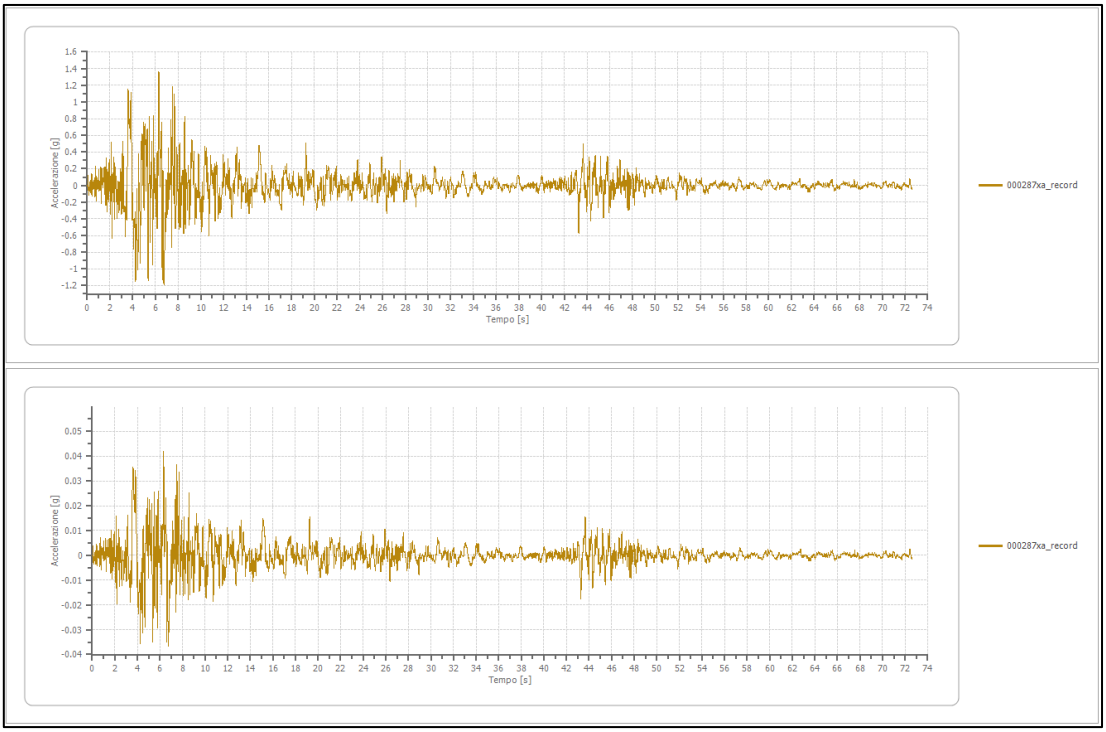


Figura 62: Accelerogramma 000287xa_record.

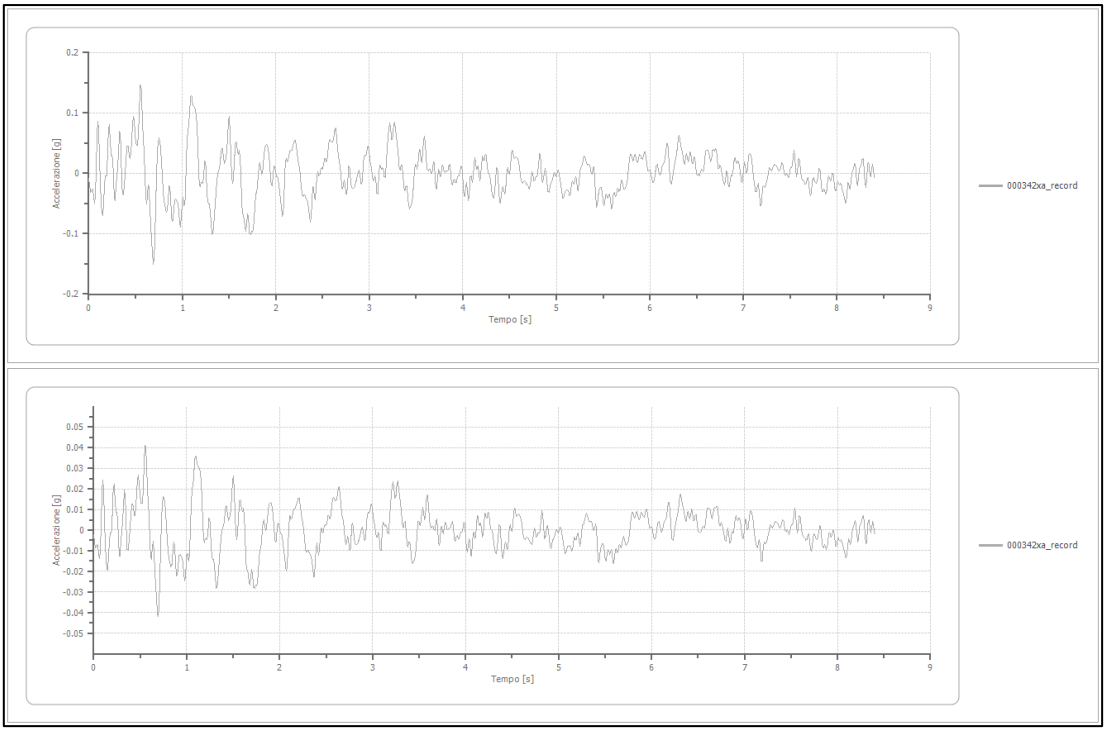


Figura 63: Accelerogramma 000342xa_record.

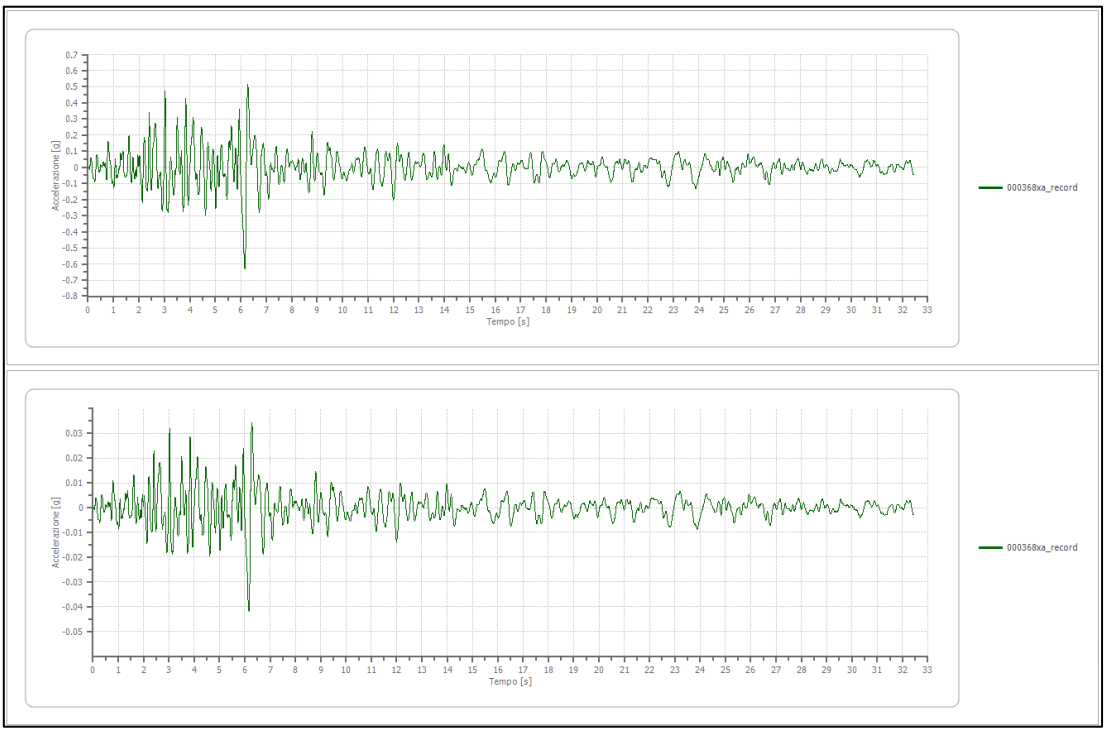


Figura 64: Accelerogramma 000368ya_record.

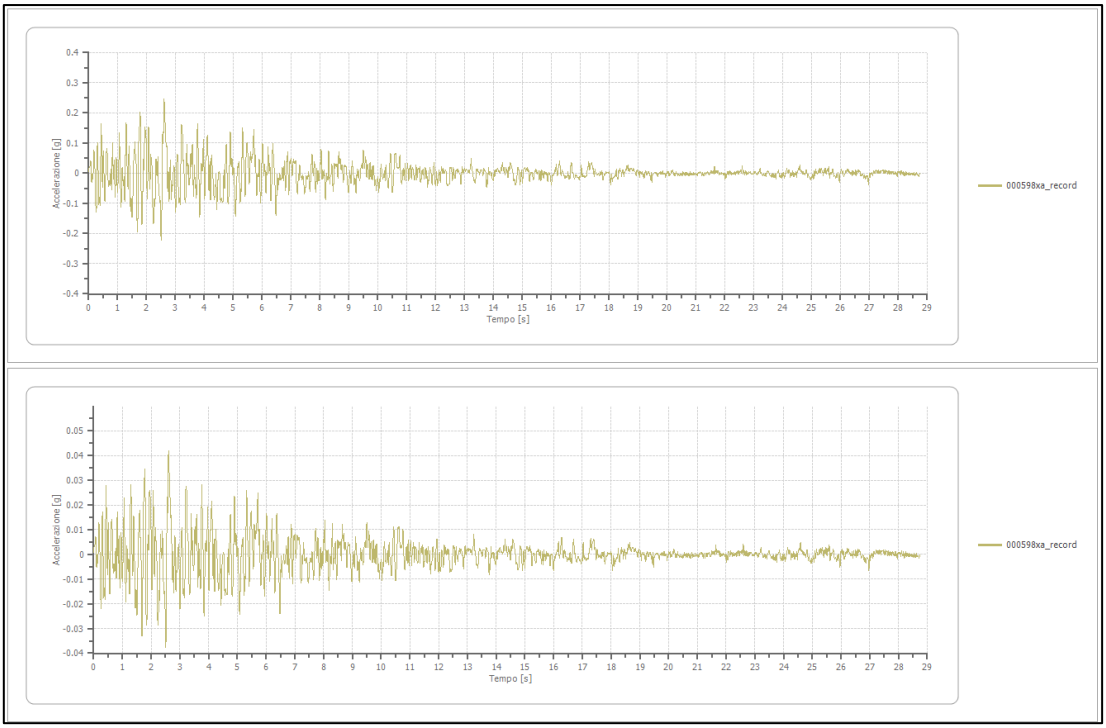


Figura 65: Accelerogramma 000598xa_record.

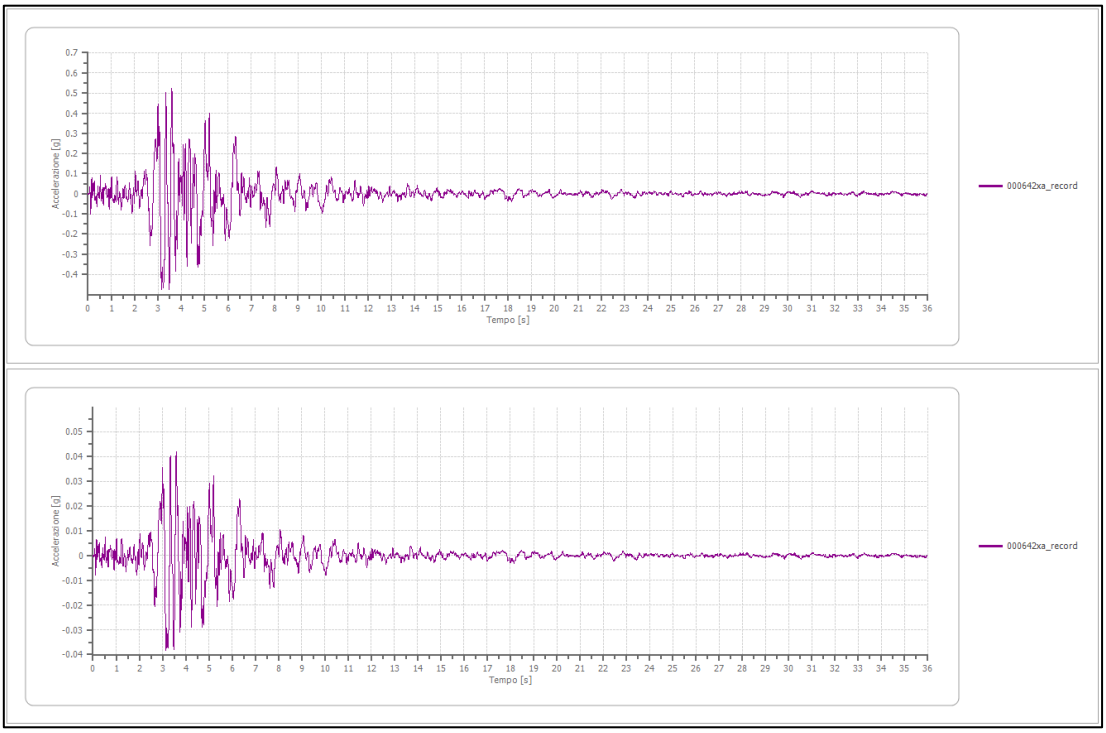


Figura 66: Accelerogramma 000642xa_record.

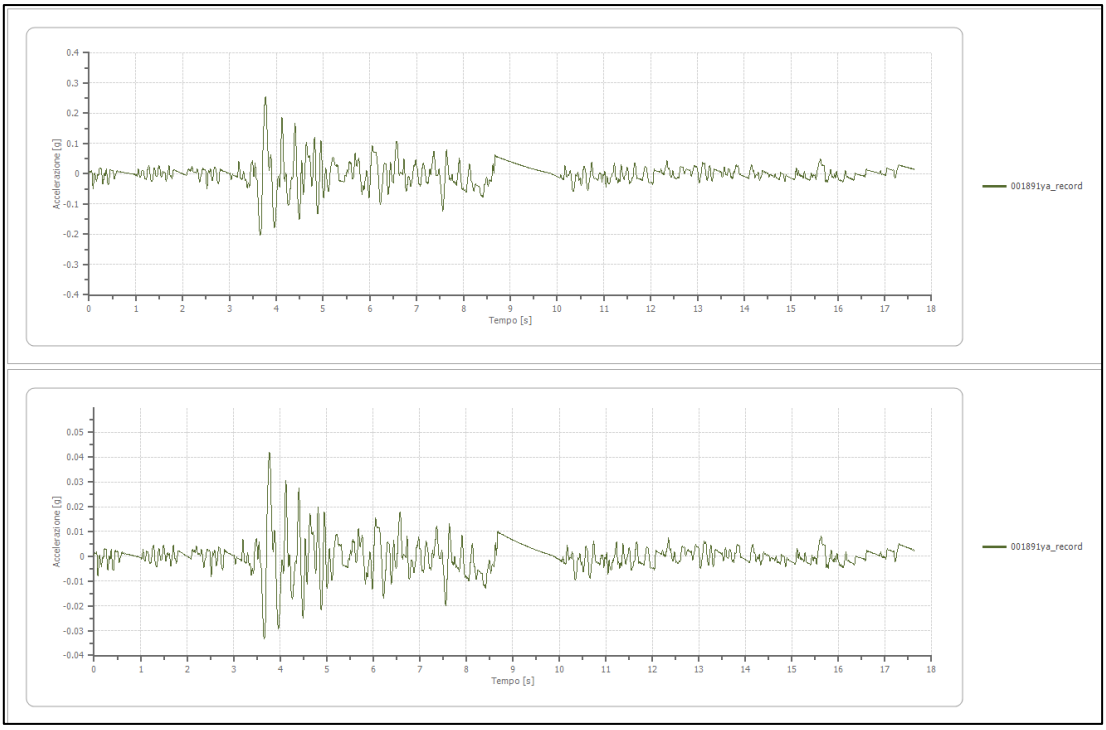


Figura 67: Accelerogramma 001891ya_record.

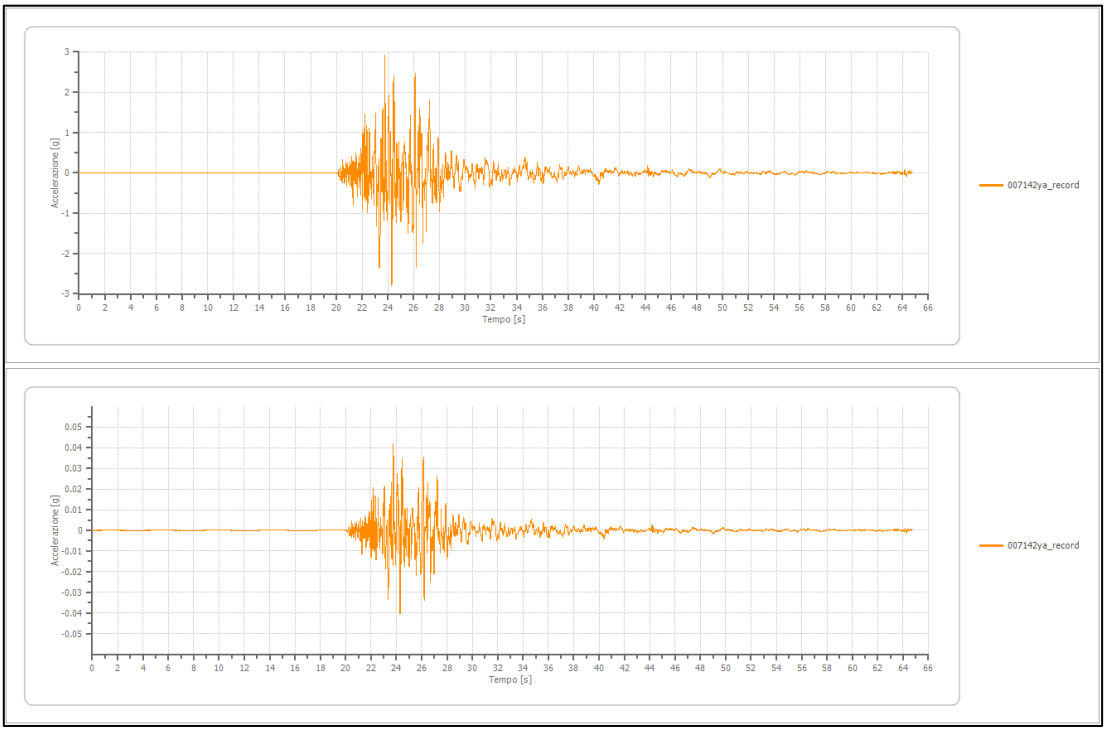


Figura 68: Accelerogramma 007142ya_record.

Risultati del modello

- **Elaborazione**

Numero di iterazioni 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

Massimo errore percentuale di convergenza 1.55 E-04

- **Fattori di amplificazione ICMS 2018**

Tai	0.260 [s]
Tvi	1.850 [s]
Tao	0.250 [s]
Tvo	1.850 [s]
Sami	2.729 [m/s²]
Svmi	0.153 [m/s]
Samo	1.858 [m/s²]
Svmo	0.143 [m/s]
Fa	**0.681 [-]**
Fv	**0.930 [-]**
TB	0.161 [s]
TC	0.483 [s]
TD	1.897 [s]
SA(0)	0.074 [g]
SA(TB)	0.189 [g]

I **fattori di amplificazione** sono così determinati:

1) Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TAi e dello spettro medio di output TAo;

2) Si ricavano i valori medi degli spettri di input (SAm,i) e di output (SAm,o) nell'intorno di TAi e di TAo come

$$SA_m = \frac{1}{TA}\int_{0.5TA}^{1.5TA} SA\ (T)dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3) Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T)\frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4) Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV}\int_{0.8TV}^{1.2TV} SV\ (T)dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio pi pseudovelocità di output.

5) Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6) Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettronormalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i}FV}{SA_{m,i}FA}$$

eriodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3}T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra TB e TC, ha ordinata pari a SAm,i*FA

Il ramo dello spettro a velocità costante (T>TC) ha ordinate pari a SAm,i*FA*(TC/T)

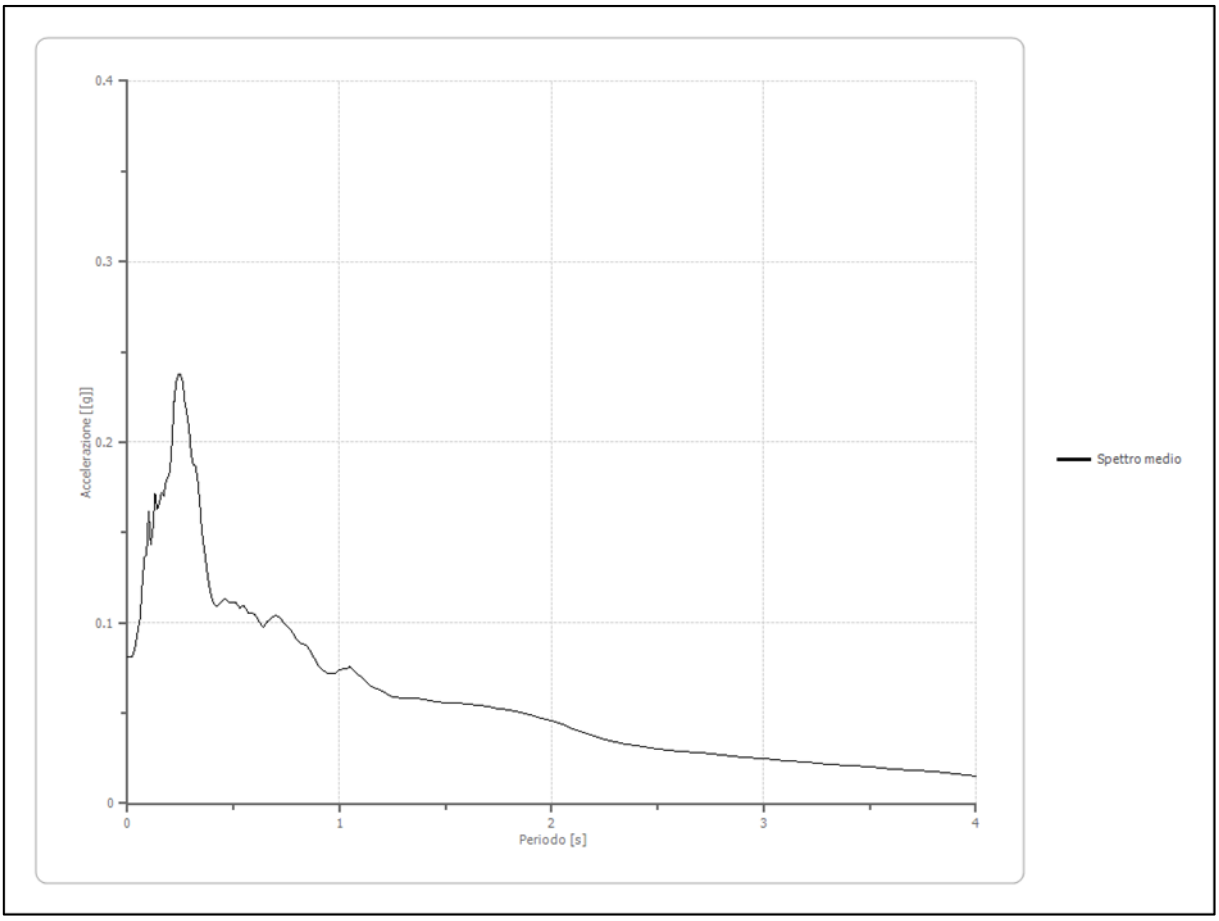
- **Fattori di amplificazione su intensità spettrale**

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.045	0.027	0.200	0.606
0.400	0.800	0.059	0.039	0.500	0.660
0.700	1.100	0.057	0.045	0.636	0.796
0.500	1.500	0.143	0.114	0.333	0.798

- **Spettro medio di risposta elastico**

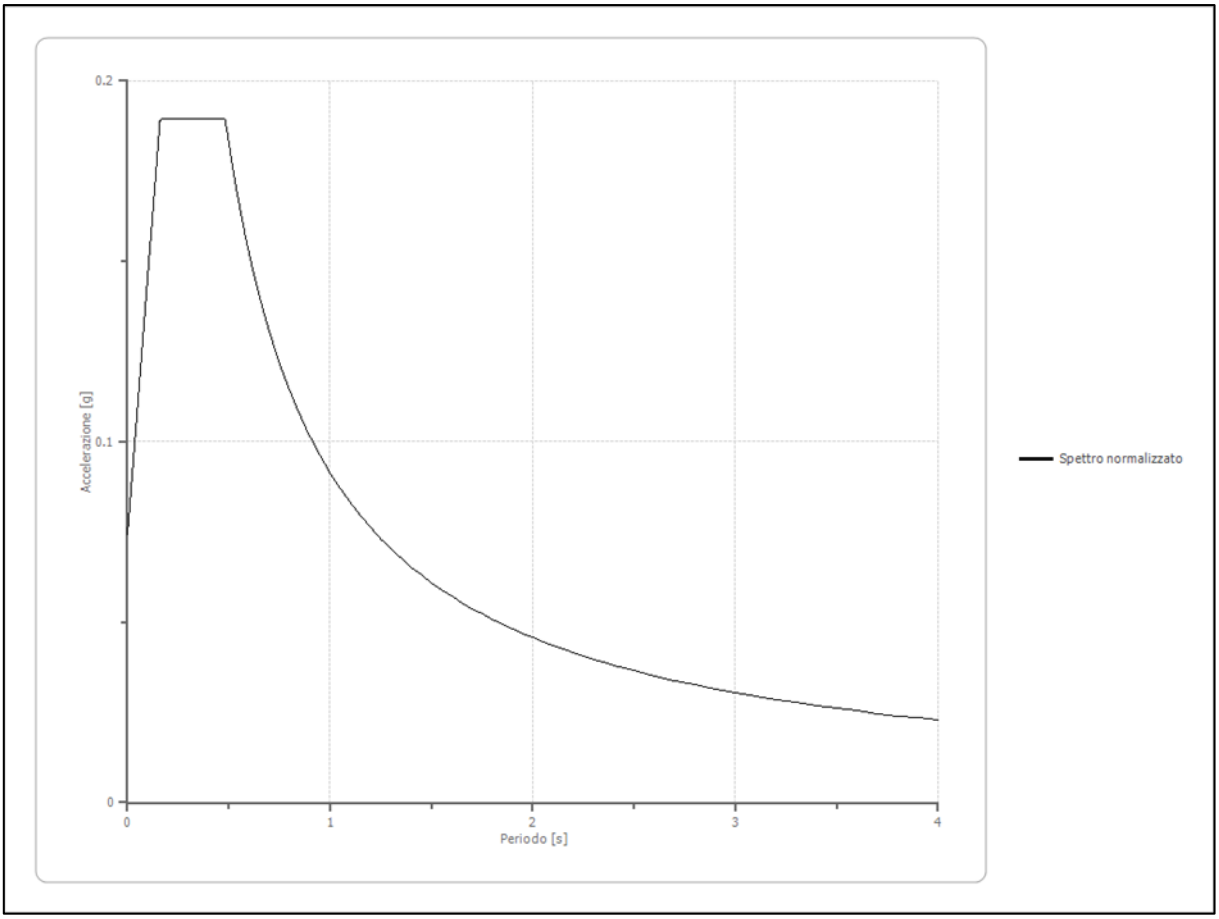
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0814	0.26	0.2339	0.52	0.1100	0.98	0.0720	2.25	0.0353
0.01	0.0814	0.27	0.2228	0.53	0.1083	1.00	0.0738	2.30	0.0337
0.02	0.0814	0.28	0.2161	0.54	0.1092	1.05	0.0752	2.35	0.0328
0.03	0.0837	0.29	0.2079	0.55	0.1095	1.10	0.0699	2.40	0.0321
0.04	0.0891	0.30	0.1936	0.56	0.1076	1.15	0.0651	2.50	0.0302
0.05	0.0971	0.31	0.1873	0.57	0.1057	1.20	0.0623	2.60	0.0288
0.06	0.1025	0.32	0.1873	0.58	0.1057	1.25	0.0588	2.70	0.0280
0.07	0.1225	0.33	0.1797	0.60	0.1047	1.30	0.0582	2.80	0.0270
0.08	0.1358	0.34	0.1675	0.62	0.1010	1.35	0.0584	2.90	0.0257
0.09	0.1383	0.35	0.1516	0.64	0.0978	1.40	0.0578	3.00	0.0248
0.10	0.1615	0.36	0.1426	0.66	0.1008	1.45	0.0564	3.10	0.0239
0.11	0.1434	0.37	0.1334	0.68	0.1027	1.50	0.0555	3.20	0.0228
0.12	0.1523	0.38	0.1245	0.70	0.1042	1.55	0.0554	3.30	0.0218
0.13	0.1718	0.39	0.1173	0.72	0.1028	1.60	0.0551	3.40	0.0209
0.14	0.1630	0.40	0.1125	0.74	0.0994	1.65	0.0547	3.50	0.0200
0.15	0.1665	0.41	0.1102	0.76	0.0976	1.70	0.0535	3.60	0.0191
0.16	0.1721	0.42	0.1095	0.78	0.0942	1.75	0.0525	3.70	0.0184
0.17	0.1702	0.43	0.1101	0.80	0.0902	1.80	0.0517	3.80	0.0177
0.18	0.1772	0.44	0.1116	0.82	0.0882	1.85	0.0505	3.90	0.0166

0.19	0.1805	0.45	0.1128	0.84	0.0877	1.90	0.0489	4.00	0.0153
0.20	0.1836	0.46	0.1131	0.86	0.0849	1.95	0.0472		
0.21	0.2002	0.47	0.1123	0.88	0.0805	2.00	0.0456		
0.22	0.2223	0.48	0.1110	0.90	0.0762	2.05	0.0437		
0.23	0.2338	0.49	0.1111	0.92	0.0739	2.10	0.0415		
0.24	0.2374	0.50	0.1110	0.94	0.0722	2.15	0.0395		
0.25	0.2376	0.51	0.1113	0.96	0.0721	2.20	0.0373		



- **Spettro normalizzato di risposta elastico**

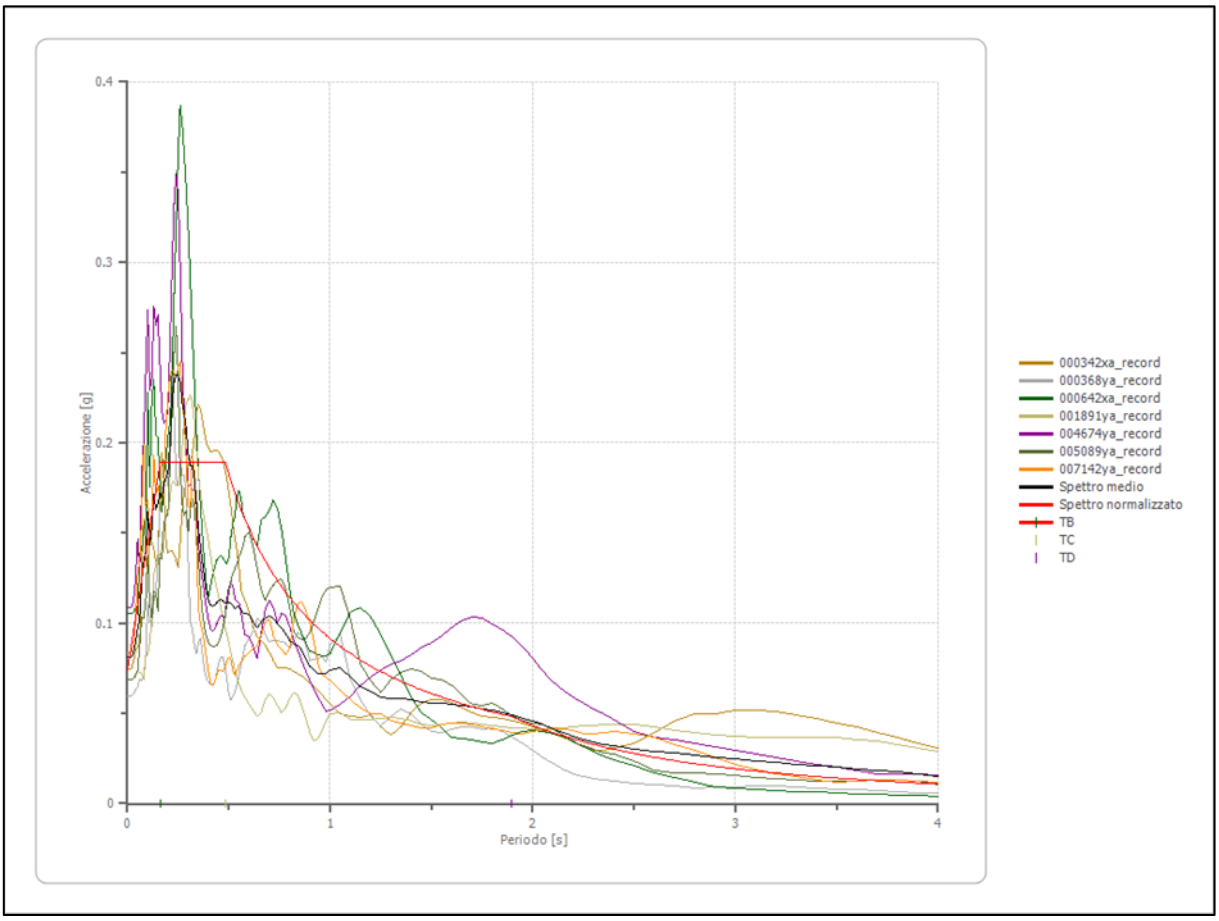
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0743	0.26	0.1894	0.52	0.1758	0.98	0.0933	2.25	0.0406
0.01	0.0814	0.27	0.1894	0.53	0.1725	1.00	0.0914	2.30	0.0397
0.02	0.0886	0.28	0.1894	0.54	0.1693	1.05	0.0871	2.35	0.0389
0.03	0.0957	0.29	0.1894	0.55	0.1662	1.10	0.0831	2.40	0.0381
0.04	0.1029	0.30	0.1894	0.56	0.1632	1.15	0.0795	2.50	0.0366
0.05	0.1101	0.31	0.1894	0.57	0.1604	1.20	0.0762	2.60	0.0352
0.06	0.1172	0.32	0.1894	0.58	0.1576	1.25	0.0731	2.70	0.0339
0.07	0.1244	0.33	0.1894	0.60	0.1524	1.30	0.0703	2.80	0.0326
0.08	0.1316	0.34	0.1894	0.62	0.1474	1.35	0.0677	2.90	0.0315
0.09	0.1387	0.35	0.1894	0.64	0.1428	1.40	0.0653	3.00	0.0305
0.10	0.1459	0.36	0.1894	0.66	0.1385	1.45	0.0630	3.10	0.0295
0.11	0.1530	0.37	0.1894	0.68	0.1344	1.50	0.0609	3.20	0.0286
0.12	0.1602	0.38	0.1894	0.70	0.1306	1.55	0.0590	3.30	0.0277
0.13	0.1674	0.39	0.1894	0.72	0.1270	1.60	0.0571	3.40	0.0269
0.14	0.1745	0.40	0.1894	0.74	0.1235	1.65	0.0554	3.50	0.0261
0.15	0.1817	0.41	0.1894	0.76	0.1203	1.70	0.0538	3.60	0.0254
0.16	0.1889	0.42	0.1894	0.78	0.1172	1.75	0.0522	3.70	0.0247
0.17	0.1894	0.43	0.1894	0.80	0.1143	1.80	0.0508	3.80	0.0241
0.18	0.1894	0.44	0.1894	0.82	0.1115	1.85	0.0494	3.90	0.0234
0.19	0.1894	0.45	0.1894	0.84	0.1088	1.90	0.0481	4.00	0.0229
0.20	0.1894	0.46	0.1894	0.86	0.1063	1.95	0.0469		
0.21	0.1894	0.47	0.1894	0.88	0.1039	2.00	0.0457		
0.22	0.1894	0.48	0.1894	0.90	0.1016	2.05	0.0446		
0.23	0.1894	0.49	0.1866	0.92	0.0994	2.10	0.0435		
0.24	0.1894	0.50	0.1828	0.94	0.0972	2.15	0.0425		
0.25	0.1894	0.51	0.1792	0.96	0.0952	2.20	0.0416		



- **Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.074	2.551447	--	0.161	0.483	1.897	0.074	0.189	1.061

- **Confronto tra gli spettri**

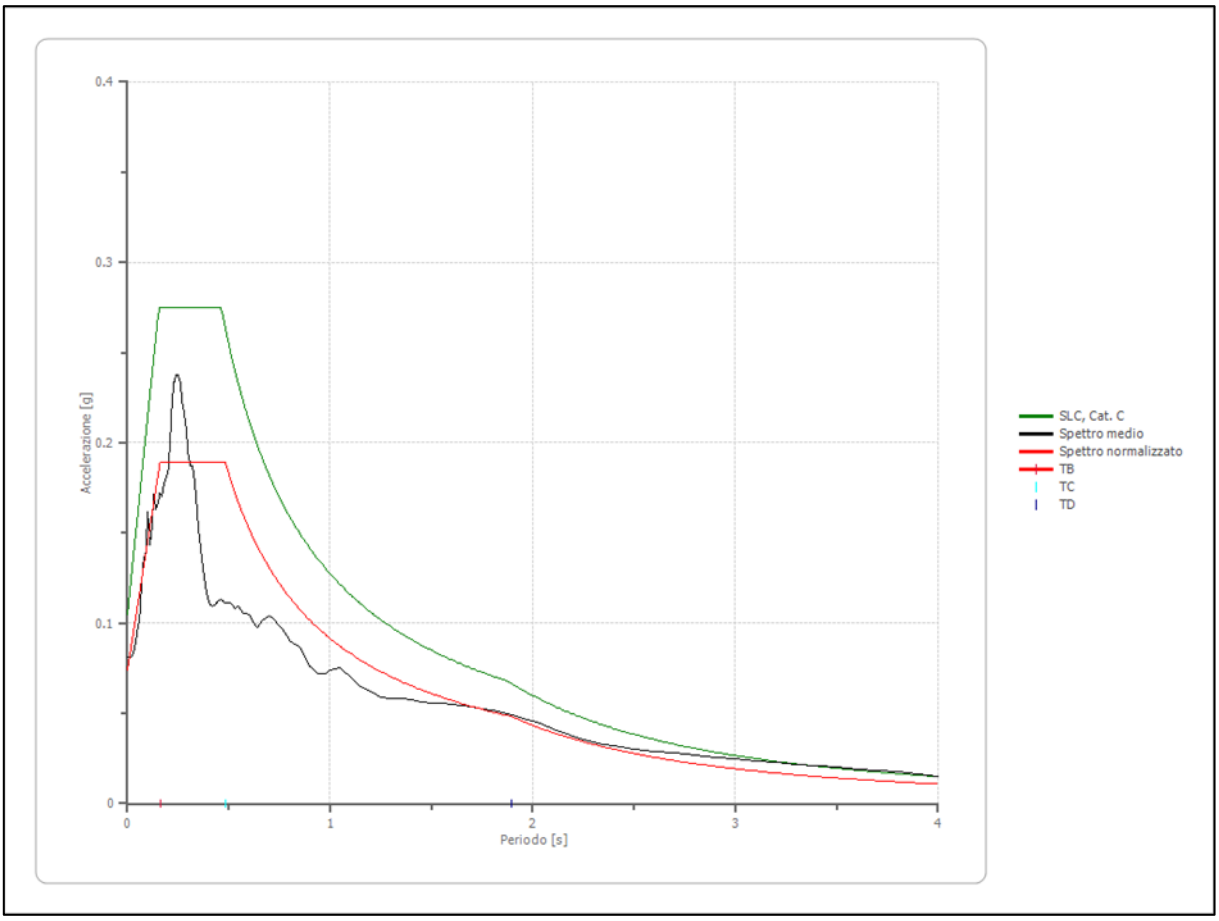


- **Confronto spettro normativa**

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

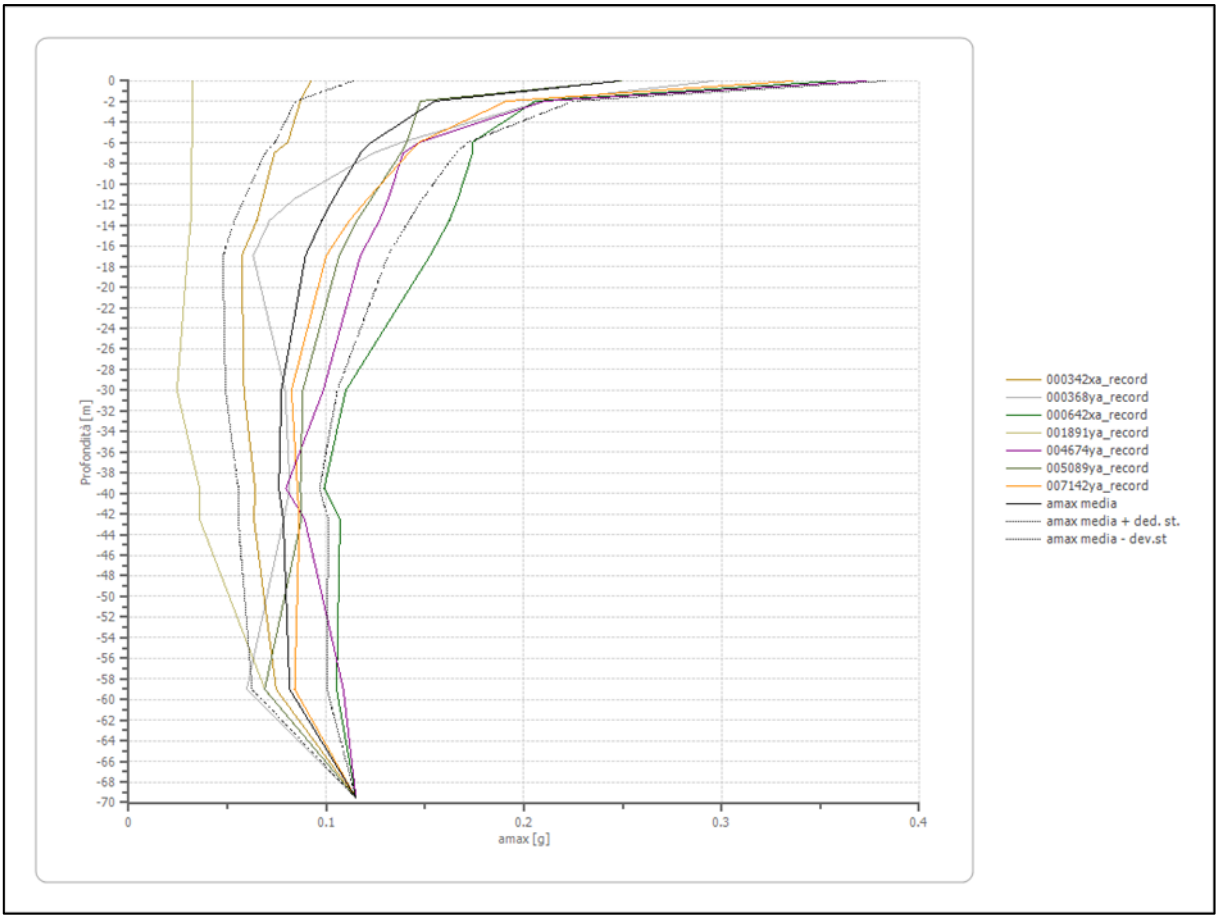
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.020	0.026	0.056	0.070
Fo	2.551	2.555	2.607	2.617
Tc* [s]	0.18	0.199	0.283	0.295
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.85	1.79	1.59	1.57

TB [s]	0.111	0.119	0.150	0.154
TC [s]	0.333	0.356	0.451	0.463
TD [s]	1.680	1.704	1.824	1.880
Se(0) [g]	0.030	0.039	0.084	0.105
Se(TB) [g]	0.077	0.100	0.219	0.275



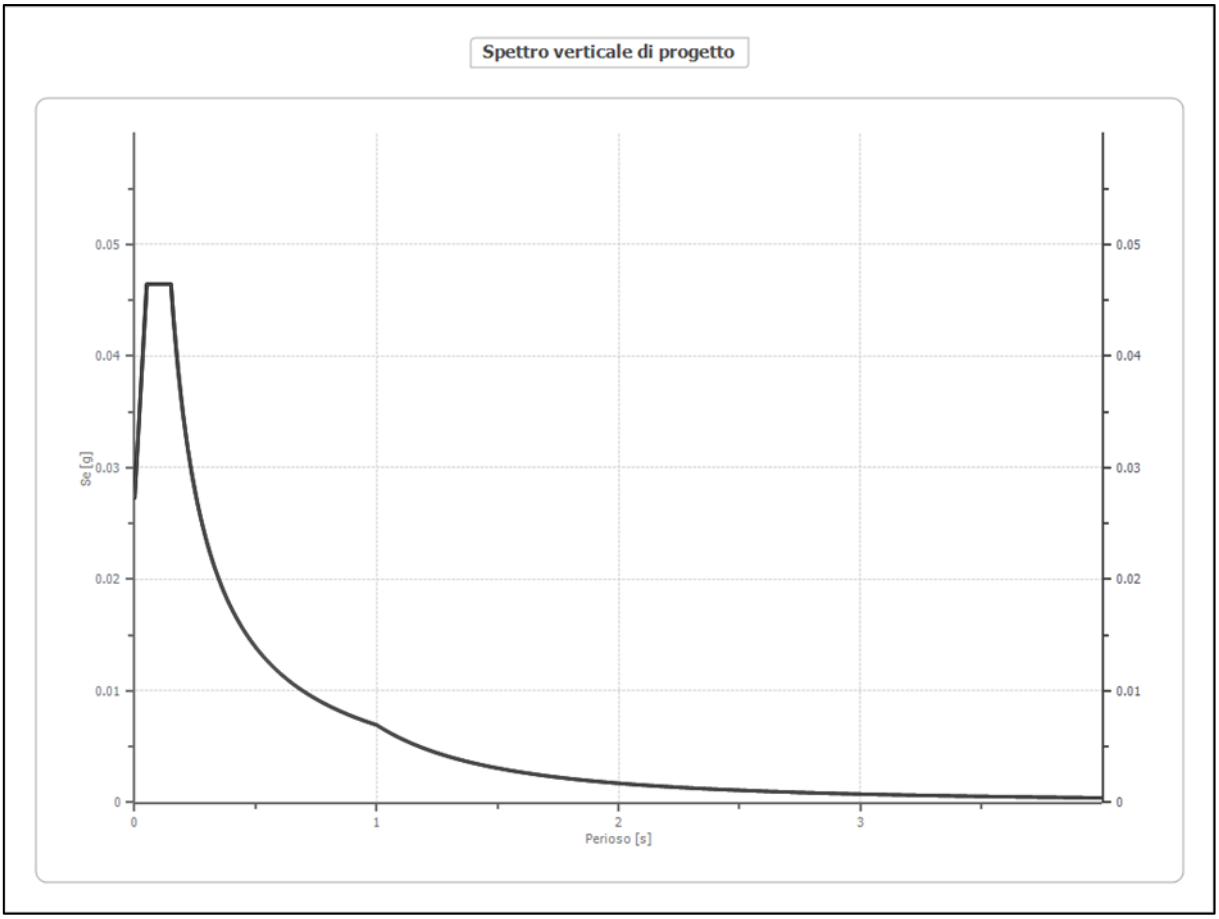
- **Profilo a max**

	0.0 [m]	2.0 [m]	6.0 [m]	7.0 [m]	11.5 [m]	13.5 [m]	17.0 [m]	30.0 [m]	39.5 [m]	42.5 [m]	59.0 [m]	69.5 [m]
000342xa_record [g]	0.092	0.087	0.081	0.074	0.068	0.065	0.057	0.058	0.064	0.063	0.075	0.115
000368ya_record [g]	0.296	0.210	0.138	0.124	0.084	0.071	0.063	0.079	0.082	0.078	0.060	0.115
000642xa_record [g]	0.358	0.206	0.174	0.174	0.167	0.162	0.153	0.110	0.099	0.107	0.105	0.115
001891ya_record [g]	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.031	0.030	0.024	0.036	0.036	0.069	0.115
004674ya_record [g]	0.373	0.210	0.147	0.139	0.131	0.127	0.117	0.098	0.080	0.089	0.109	0.115
005089ya_record [g]	0.249	0.148	0.141	0.138	0.123	0.116	0.106	0.088	0.087	0.087	0.069	0.115
007142ya_record [g]	0.336	0.191	0.147	0.142	0.121	0.112	0.100	0.082	0.085	0.086	0.084	0.115
media [g]	0.248	0.155	0.123	0.117	0.103	0.098	0.089	0.077	0.076	0.078	0.081	0.115
Dev. St. [g]	0.135	0.070	0.049	0.048	0.045	0.044	0.042	0.028	0.021	0.023	0.019	0.000



- **Spettro verticale di progetto**

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.074	2.551	0.150	0.939	1.5	0.050	0.150	1.000	0.027	0.046


Spettro verticale di progetto
Se [g]
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
0
1
2
3
Perioso [s]

9.8 PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO

Di seguito si riportano parametri sismici necessari per la valutazione delle azioni sismiche di progetto attese, determinati sulla base di quanto riscontrato tramite l'apposita analisi di Risposta Sismica Locale svolta per il sito in esame.

Stato Limite	Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
SLO	0.019	2.810739	--	0.104	0.312	1.675	0.019	0.053	0.942
SLD	0.027	2.964311	--	0.127	0.380	1.710	0.027	0.081	1.057
SLV	0.059	2.61599	--	0.156	0.469	1.835	0.059	0.154	1.048
SLC	0.074	2.551447	--	0.161	0.483	1.897	0.074	0.189	1.061

Per calcolare il valore di A_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per il coefficiente di amplificazione sismica (S) tramite la relazione: $A_{max}=a_g$ (m/s^2) · S.

L'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2; pertanto, i valori nominali di a_g precedentemente calcolati vanno moltiplicati per 9.81 m/s^2 e successivamente moltiplicati per i coefficienti di amplificazione sismica S.

Stati limite		a_g (g)	a_g (m/s^2)	S	A_{max} (g)	A_{max} (m/s^2)
SLE	**SLO**	0.019	0.186	0.942	0.018	0.177
	SLD	0.027	0.265	1.057	0.029	0.284
SLU	**SLV**	0.059	0.579	1.048	0.062	0.608
	SLC	0.074	0.726	1.061	0.076	0.745

Infine, i coefficienti Kh (coefficiente sismico orizzontale) e Kv (coefficiente sismico verticale) assumono i seguenti valori:

Stati limite		K_h	K_v
SLE	**SLO**	0.006	0.003
	SLD	0.008	0.004
SLU	**SLV**	0.017	0.008
	SLC	0.021	0.010

10 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto esposto nel presente elaborato si conclude quanto segue:

- In ragione dell'opera in oggetto si è proceduto all'analisi della risposta sismica locale (RSL);
- L'esecuzione di una Risposta Sismica Locale consente di ottenere una valutazione dell'amplificazione locale più rigorosa dell'approccio semplificato;
- I punti fondamentali nella stima dell'azione sismica, sulla base di specifiche analisi di RSL, possono essere così schematizzati:
    - definizione dell'input sismico rappresentativo dell'azione sismica al tetto del bedrock sismico, da dove si presume che inizi l'amplificazione locale;
    - determinazione di un adeguato modello geologico e parametrizzazione degli strati individuati;
    - esecuzione analisi;
    - scelta e rappresentazione dei parametri di output.
- I risultati ottenuti dalle diverse analisi eseguite ai diversi stati limite hanno permesso di determinare i parametri sismici da utilizzare nelle verifiche progettuali.

ALLEGATO 1 – DOCUMENTAZIONE PROVA MASW

INDAGINE MASW

E' è stata effettuata un'indagine geofisica all'interno dell'area in studio, al fine di fornire indicazioni sul comportamento del sottosuolo nell'ipotesi di un evento sismico.

Nello specifico si è disposta la realizzazione di una base sismica denominata "L1" attrezzata con geofoni con registrazione verticale. In corrispondenza della linea "L1" è stata realizzata un'indagine sismica applicando la metodologia MASW la quale consente, attraverso alcune trasformazioni, di risalire alla velocità delle onde S (onde di taglio).

L'attrezzatura utilizzata in campagna è costituita da un sismografo a 12 canali, 12 geofoni distanziati di 5.0 m, mazza e piastra di battuta.

Il sismografo ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale viene effettuata su PC sul quale vengono successivamente elaborati i dati.

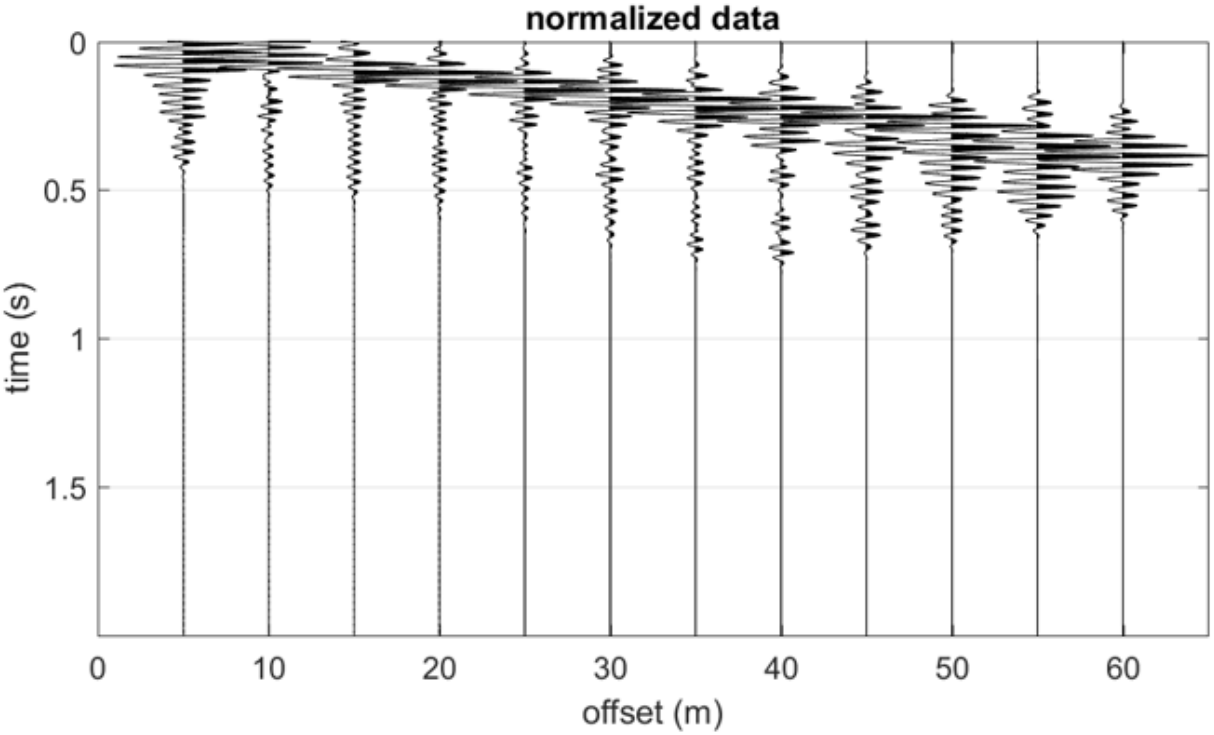
L'indagine MASW realizzata lungo lo stendimento L1 ha previsto un punto di energizzazione (andata), posto a 5,0 m di distanza dal primo geofono.

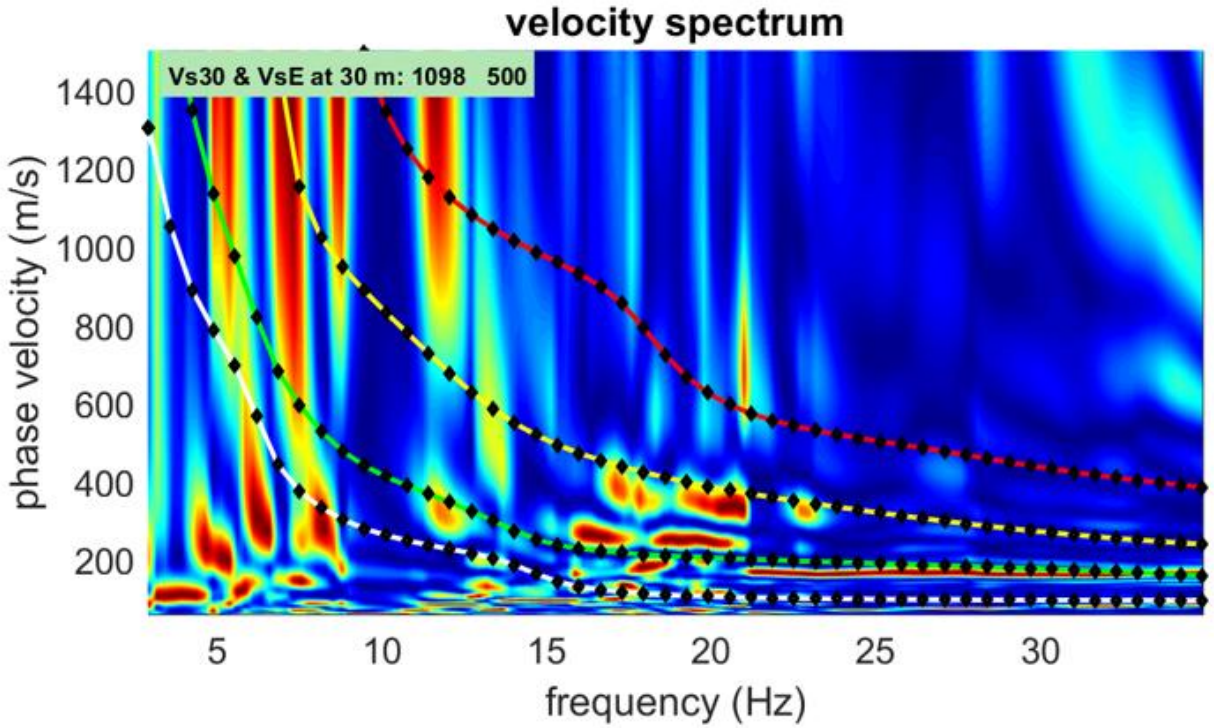
L'acquisizione della velocità delle onde di taglio (V_s) avviene per mezzo di indagine sismica a rifrazione con metodo MASW, mediante energizzazione del sottosuolo e registrazione degli arrivi delle onde rifrante in corrispondenza di geofoni verticali.

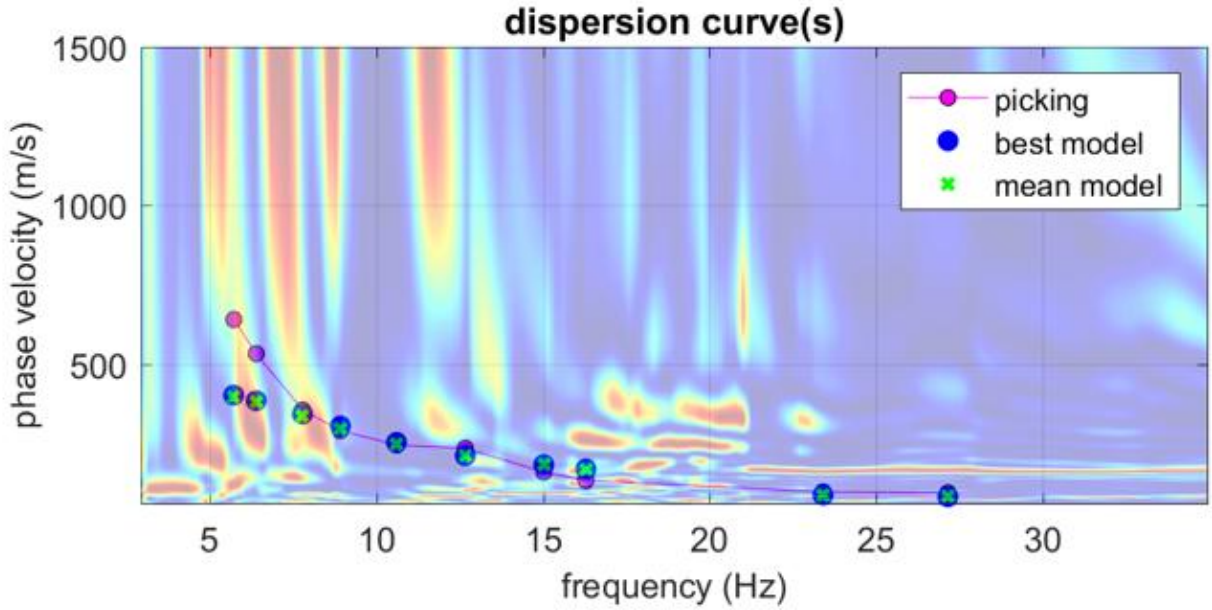
L'elaborazione dei dati sismici con metodo MASW è stata effettuata per mezzo del software che, mediante la trasformata di Fourier, è in grado di fornire indicazioni sulla suddivisione delle unità litologiche del sottosuolo mediante l'individuazione delle onde V_s.

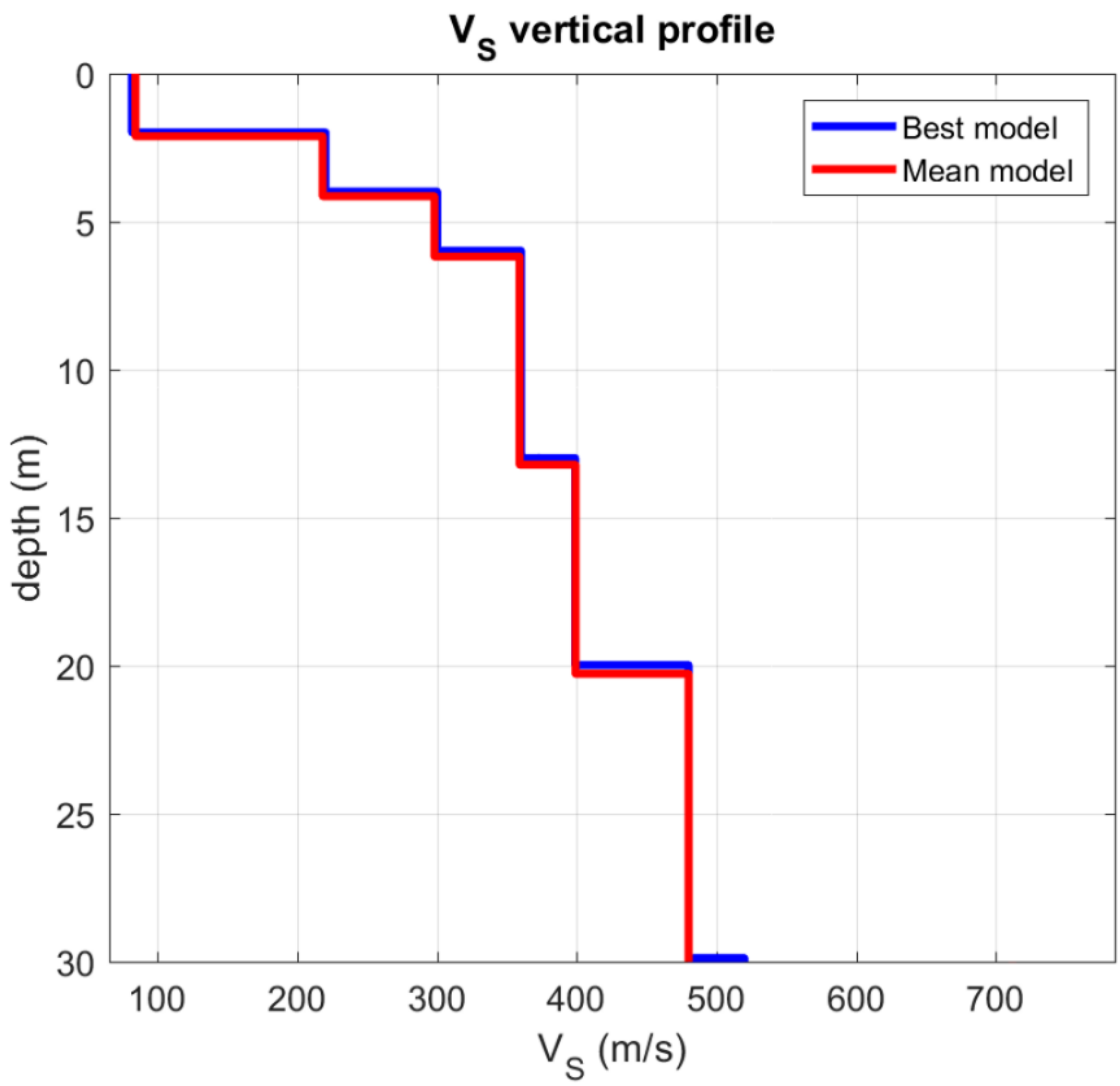
Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier), i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si

propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.


normalized data
time (s)
0
0.5
1
1.5
0
10
20
30
40
50
60
offset (m)


velocity spectrum
Vs30 & VsE at 30 m: 1098 500
phase velocity (m/s)
1400
1200
1000
800
600
400
200
5
10
15
20
25
30
frequency (Hz)


dispersion curve(s)
phase velocity (m/s)
1500
1000
500
5
10
15
20
25
30
frequency (Hz)
picking
best model
mean model


V_S vertical profile
depth (m)
0
5
10
15
20
25
30
100
200
300
400
500
600
700
V_S (m/s)
Best model
Mean model

Subsurface Model

Vs (m/s)	Thickness (m)
81	2.0
220	2.0
300	2.0
360	7.0
399	7.0
480	9.9
520	0.1

Vp (m/s)	Poisson
200	0.40
458	0.35
625	0.35
750	0.35
830	0.35
999	0.35
973	0.30

Vs30 and VsE (m/s): 306